

**Semiconductor component of low loss and high breakdown voltage - has semiconductor substrate with two opposite main surfaces and numerous grooves in first surface**  
**Patent Assignee:** MITSUBISHI DENKI KK; MITSUBISHI ELECTRIC CORP  
**Inventors:** MINATO T; UENISHI A

Patent Family							
Patent Number	Kind	Date	Application Number	Kind	Date	Week	Type
DE 19736981	A1	19980820	DE 1036981	A	19970825	199839	B
JP 10223896	A	19980821	JP 9726997	A	19970210	199844	
DE 19736981	C2	19990826	DE 1036981	A	19970825	199938	
US 6040600	A	20000321	US 97909411	A	19970811	200021	
US 6103578	A	20000815	US 97909411	A	19970811	200041	
			US 99283751	A	19990402		

**Priority Applications (Number Kind Date):** JP 9726997 A ( 19970210)

Patent Details					
Patent	Kind	Language	Page	Main IPC	Filing Notes
DE 19736981	A1		64	H01L-029/78	
JP 10223896	A		28	H01L-029/78	
DE 19736981	C2			H01L-029/78	
US 6040600	A			H01L-029/78	
US 6103578	A			H01L-021/336	Cont of application US 97909411

**Abstract:**  
DE 19736981 A

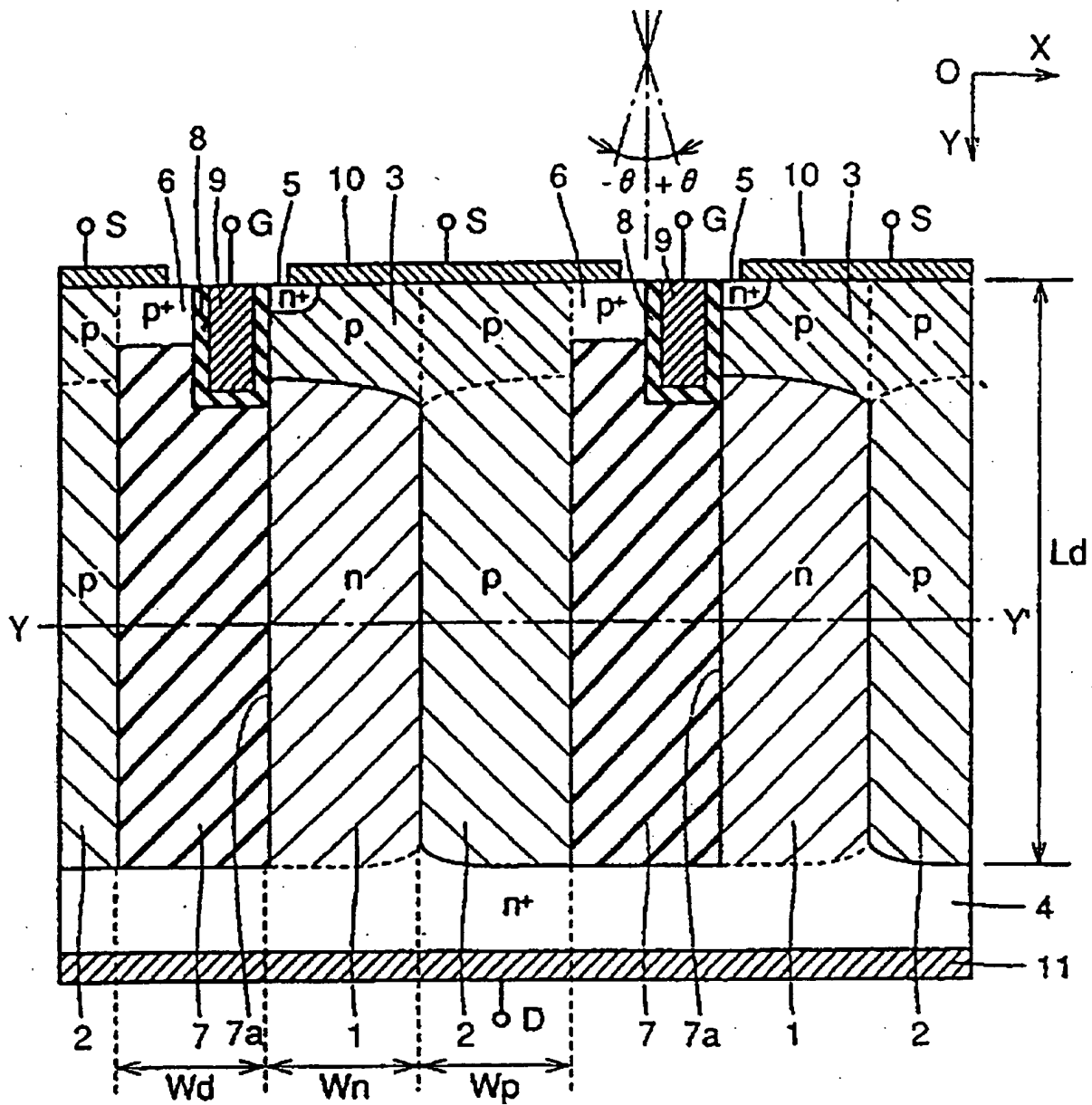
The component has a first doping region (1) of a first conductivity-type formed within a substrate region between two grooves (7a) in laminated structure and a side wall face of one groove. A second doping region (2) is similarly formed with respect to the second groove, is of second conductivity-type and forms with the first region of a PN-junction.

A second conductivity-type third doping region (3) is formed nearer to the first main surface. A fourth doping region (5) of first conductivity type is at least at the first main surface, or a side wall face of a groove (7) such that it is opposite to the first region. Opposite to the third region is located a gate electrode layer (9) with an intermediate gate insulating film (8). The first and second region have specified concentration distribution.

**USE/ADVANTAGE** - For switching current sources, inverters. Fine PN-repeat structure, enabling high breakdown voltage.

Dwg.1/66

BEST AVAILABLE COPY



Derwent World Patents Index  
 © 2004 Derwent Information Ltd. All rights reserved.  
 Dialog® File Number 351 Accession Number 12031457

60282432 v1



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑪ Offenlegungsschrift  
⑫ DE 197 36 981 A 1

⑮ Int. Cl.<sup>6</sup>  
H 01 L 29/78

⑰ Aktenzeichen: 197 36 981.2  
⑱ Anmeldetag: 25. 8. 97  
⑲ Offenlegungstag: 20. 8. 98

DE 197 36 981 A 1

⑳ Unionspriorität:  
9-026997 10. 02. 97 JP  
㉑ Anmelder:  
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP  
㉒ Vertreter:  
Prüfer und Kollegen, 81545 München

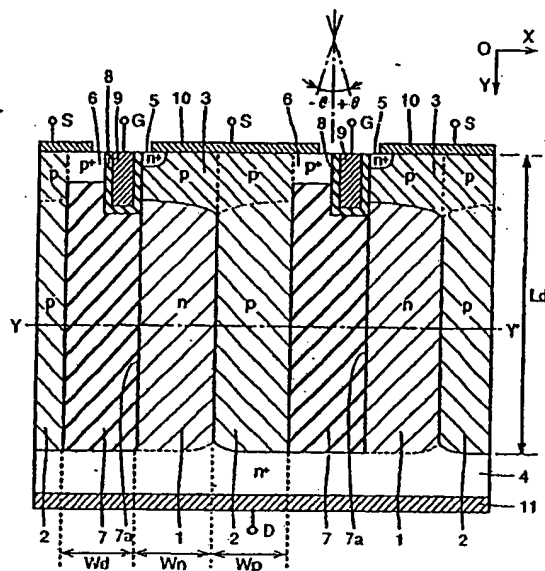
㉓ Erfinder:  
Uenishi, Akio, Tokio/Tokyo, JP; Minato, Tadaharu,  
Tokio/Tokyo, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉔ Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung

㉕ Es sind ein n-Diffusionsbereich (1) und ein p-Diffusionsbereich (2) in einem Bereich gebildet, der zwischen Gräben (7a), die an einer ersten Hauptoberfläche eines Halbleitersubstrates angeordnet sind, begrenzt ist. Es ist eine p-Wanne (3) in dem n- und dem p-Diffusionsbereich (1, 2) näher an der ersten Hauptoberfläche gebildet. Es ist ein Source-n-Diffusionsbereich (5) an der ersten Hauptoberfläche innerhalb der p-Wanne (3) gebildet. Es ist eine Gateelektrodenschicht (9) gegenüber der p-Wanne (3) gebildet, die zwischen dem n-Diffusionsbereich (1) und dem Source-n-Diffusionsbereich (5) mit einer dazwischen vorgesehenen Gateisolierschicht (8) begrenzt ist. Der n- und der p-Diffusionsbereich (1, 2) weisen jeweils eine Dotierungskonzentrationsverteilung auf, die von einer Seitenwand eines Grabens (7a) diffundiert ist. Somit kann eine feine pn-Wiederholungsstruktur in der Größenordnung von Mikrometern mit einer ausreichenden Präzision erreicht werden und eine Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung wird so erhalten, die eine überragende Ein-Zustandsspannung und eine Durchbruchsspannung sowie schnelle Schalteigenschaften aufweist.



DE 197 36 981 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung. Speziell betrifft sie eine verlustarme Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung, die für verschiedene Stromversorgungseinrichtungen benutzt wird.

Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung, die zum Schalten von Stromquellen, Wechselrichtern und ähnlichem benutzt werden, wurden zu Leistungs-MOSFET (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor), SIT (Statistischer Induktionsthyristor) und ähnlichem und weiter zu IGBT (Bipolartransistor mit isoliertem Gate) derart verbessert, daß eine schnelle Schalteigenschaft, eine niedrige Ein-Spannung und ähnliches als Reaktion auf die Anforderung nach hoher Effizienz und Miniaturisierung der Einrichtungen erreicht werden. Während die Optimierung der Strukturen dieser der Anmelderin bekannten Einrichtungen aktiv gefördert wurde, sind Anforderungen für die Einrichtungen mit noch höherer Frequenz und nach Miniaturisierung der Einrichtungen und noch günstigere Einrichtungen schwierig zu erfüllen und somit müssen neue Lösungswege eingeschlagen werden.

Da die der Anmelderin bekannten Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung mit einem dicken, relativ hohen Widerstandsdriftbereich an einem Hauptstrompfad derart vorgesehen sind, daß eine hohe Durchbruchsspannung erzielt wird, weist eine Einrichtung mit höherer Durchbruchsspannung einen größeren Spannungsabfall an diesem Abschnitt auf und ihre Spannung im Ein-Zustand wird erhöht. Speziell ein Leistungs-MOSFET und ein SIT einer sogenannten unipolaren Einrichtung, die nur die Majoritätsladungsträger zur Stromleitung benutzt, sind zum schnellen Schalten in der Lage, weisen jedoch eine hohe Spannung im Ein-Zustand auf und es wurde angenommen, daß die Kompromißbeziehung zwischen der Spannung im Ein-Zustand und der Durchbruchsspannung eine Grenze, die für das Halbleitermaterial charakteristisch ist und die als sogenannte Siliziumgrenze bekannt ist, nicht übersteigen kann.

Bei einem IGBT wird eine kleine Menge von Minoritätsladungsträger in einen Driftbereich derart eingebracht, daß die Leitfähigkeit erhöht wird und somit die Kompromißbeziehung zwischen der Spannung im Ein-Zustand und der Durchbruchsspannung stark verbessert wird. Da jedoch das Schalten von ihm von einem Einschaltphänomen, das durch einen Anreicherungseffekt von Minoritätsladungsträger verursacht ist, begleitet wird, wird dadurch der Schaltverlust erhöht und da ein pn-Übergang zum Einbringen von Minoritätsladungsträgern an einem Hauptstrompfad vorgesehen ist, kann eine Spannung im Ein-Zustand gleich oder weniger als der Spannungsabfall nicht erreicht werden. Daher ist es für einen IGBT schwierig, die Spannung im Ein-Zustand auf ungefähr 1 V oder weniger in einer Einrichtung mit einer Durchbruchsspannung in der Größenordnung von einigen hundert Volt zu erniedrigen.

Bei Bipolartransistoren und Bipolarmodus-SIT werden Minoritätsladungsträger von einer Basis oder einem Gateanschluß geliefert. Somit wird, während ein Spannungsabfall aufgrund eines pn-Übergangs nicht verursacht wird, der Schaltverlust erhöht und es muß ebenso ein großer Basis(Gate)-Vorwärtstrom (ungefähr 1/10 eines Hauptstromes für eine Einrichtung mit einer Durchbruchsspannung in der Größenordnung von einigen hundert Volt) derart geliefert werden, daß die Ladungsträgerdichte in einen Sättigungszustand erhöht wird, was nachteilig zu einem großen Treiberverlust führt.

Zum Überwinden solcher Begrenzungen von den der Anmelderin bekannten Einrichtungen mit hoher Durchbruchsspannung wurde eine Einrichtung mit einer Querschnittsstruktur wie zum Beispiel die, die in Fig. 58 gezeigt ist, zum Beispiel in US 5 216 275 vorgeschlagen.

Die in Fig. 58 gezeigte Struktur ist ein Beispiel, bei dem die in der oben erwähnten Druckschrift beschriebene Technik bei einem Leistungs-MOSFET des Grabengatetyps angewendet ist und ein Driftbereich, der aus einem n-Halbleiter mit hohem Widerstand in einer der Anmelderin bekannten Einrichtung gebildet ist, ist durch eine Wiederholungsstruktur eines schmalen n-Bereiches 301 und eines p-Bereiches 302 ersetzt.

Die oben erwähnte Druckschrift beschreibt nicht speziell eine räumliche Beziehung zwischen einem Gate 309, das einen Kanal bildet, und einer p-Wanne 303, die ein Rückgate bildet, und der pn-Wiederholungsstruktur 301 und 302. Der Kanal und die p-Wanne 303 müssen jedoch mit dem n-Bereich 301 bzw. mit dem p-Bereich 302, wie in der Figur gezeigt ist, verbunden werden. Die oben erwähnte Druckschrift schlägt vor, daß es nun wichtig ist, daß die Dotierungsmenge in dem n-Bereich 301 gleich der Dotierungsmenge in dem p-Bereich 302 ist und daß die Breite von jedem der Bereiche 301 und 302 ausreichend schmal ist.

Wenn eine Einrichtung mit dieser Struktur in einem Ein-Zustand ist, wird ein n-Kanal durch das MOS-Gate 309 an der Oberfläche der p-Wanne 303, die dem MOS-Gate 309 mit einer Gateisolierschicht 308, die dazwischen vorgesehen ist, gegenüberliegt. Dann verläuft ein elektronischer Strom entlang der Route von einem Drain-n-Bereich 304 über den n-Bereich 301 und den n-Kanal zu einem Source-n-Diffusionsbereich 305. Wenn das MOS-Gate 309 ausreichend derart vorgespannt ist, daß ein Spannungsabfall an dem Kanalabschnitt unterdrückt wird, wird die Spannung im Ein-Zustand allgemein in Abhängigkeit des Spannungsabfalles, der durch den Widerstand des n-Bereiches 301 verursacht ist, bestimmt. Ein Ein-Zustands-Widerstand  $R_{on}$  pro Einheitsfläche wird durch die folgende Beziehung angegeben:

$$R_{on} \approx L_d / (q \cdot N_d \cdot \mu) \cdot (W_n + W_p) / W_n \quad (1)$$

wobei

$L_d$ : die Länge einer Driftschicht

$q$ : Einheitsladung

$N_d$ : die Nettodotierungskonzentration in dem n-Bereich 1

$\mu$ : Beweglichkeit der Elektronen des n-Bereiches 1.

In einem Auszustand, in dem eine Drainspannung so niedrig wie ungefähr 10 V ist, wird ein Raumladungszone entlang eines Überganges eines n-Bereichabschnittes (der aus dem Drain-n-Bereich 304 und dem mit einem Drain verbundenen n-Bereich 301 gebildet ist) und einem p-Bereichabschnitt (der aus der p-Wanne 303 und dem mit einem Source verbundenen p-Bereich 302 gebildet ist). Somit dehnt sich die Raumladungszone von einer Grenze des pn-Übergangs aus, wenn man es entlang der Linie Y-Y' in der Figur betrachtet. Wenn die Drainspannung erhöht wird, werden der n-Be-

reich 301 und der p-Bereich 302 verarmt, da diese Bereiche dünn sind. Wenn eine noch höhere Drainspannung angelegt wird, dehnt sich die Raumladungszone nur zu der p-Wanne 303 und dem Drain-n<sup>+</sup>-Bereich 304 aus.

Es wird nun auf Fig. 59, die eine Dotierungsverteilung an dem pn-Wiederholungsstrukturabschnitt zeigt, Bezug genommen, um die elektrische Feldstärke davon zu diskutieren.

Eine elektrische Feldkomponente an einem Querschnitt entlang der Linie Y-Y' in der X-Richtung in Fig. 58 ist innerhalb des n-Bereiches 301 erhöht und innerhalb des p-Bereiches 302 erniedrigt und zeigt somit eine kontinuierliche Dreieckswellenform, wie in Fig. 60 gezeigt ist. Wenn man um einen Wiederholungsstrukturabschnitt durch den p-Bereich 302 und den n-Bereich 301 geht, kehrt das Potential an dem Querschnitt entlang der Linie Y-Y' zu dem gleichen Pegel zurück. Somit wird ein Nullseppunkt so bestimmt, daß eine Fläche S1 (eine schraffierte Fläche) auf der positiven Seite des elektrischen Feldes in der X-Richtung gleich zu einer Fläche S2 (eine schraffierte Fläche) auf der negativen Seite ist. Wenn das vorliegende Modell durch  $N_d = N_a$  ( $N_a$ : Nettodotierungskonzentration eines p-Bereiches 302) vereinfacht wird, wird der größte Wert des elektrischen Feldes in der X-Richtung durch die folgende Beziehung angegeben:

$$E_x(\max) = q \cdot N_d \cdot W_n / 2\epsilon \quad (2)$$

$\epsilon$ : Dielektrische Konstante von Silizium.

Eine elektrische Feldstärke an einem Querschnitt entlang der Linie X-X' zeigt eine Verteilung in der Form eines Rechteckes oder eines Trapezes. Wenn die Bedingung, daß die Dotierungsmenge in dem n-Bereich 301 gleich zu der Dotierung in dem p-Bereich 302 ist, erfüllt ist, wird eine rechteckige elektrische Feldverteilung erhalten. Wenn die Dotierungsmenge in dem n-Bereich 301 relativ größer ist, wird die Stärke eines elektrischen Feldes näher an Source (S) erhöht, so wie es typisch ist, mit einer Einrichtung mit einer typischen n-Driftschicht.

Hier ist die Durchbruchspannung  $V_{br}$  einer Einrichtung fast durch den größten Wert des elektrischen Feldes, der eine kritische elektrische Feldstärke  $E_c$  (für Silizium ist  $E_c \approx 2 \cdot 10^5$  V/cm) erreicht, bestimmt und somit kann, wenn  $N_a = N_d$ , die folgende Beziehung erhalten werden:

$$V_{br} \approx E_c \cdot L_d \quad (3)$$

Entsprechend der Beziehung (1) wird eine Dotierungskonzentration  $N_a$  des p-Bereiches 302 auch derart erhöht, daß die Durchbruchspannung gehalten wird, während eine Dotierungskonzentration  $N_d$  des n-Bereiches 301 nur derart erhöht werden muß, daß eine Spannung im Ein-Zustand (Ein-Zustands-Widerstand) reduziert wird. So wie der absolute Wert dieser Dotierungskonzentrationen erhöht wird, wird der Gradient eines elektrischen Feldes entlang der X-Richtung in einem Auszustand steil. Dann, wenn der größte Wert  $E_x(\max)$  des elektrischen Feldes ein kritisches elektrisches Feld erreicht, erreicht die Durchbruchspannung nicht mehr einen in der Beziehung (3) erwarteten Wert. Somit wird die folgende Beziehung benötigt:

$$W_n < 2 \cdot \epsilon \cdot E_c / (q \cdot N_d) \quad (4)$$

Der Ein-Zustands-Widerstand beträgt:

$$R_{on} = V_{br} \cdot (W_n + W_p) / (2 \cdot \epsilon \cdot \mu \cdot E_c) \quad (5)$$

Somit kann, wenn  $W_n$  und  $W_p$  verringert werden, der Ein-Zustands-Widerstand (Widerstand im Ein-Zustand) extrem verringert werden. Während ein Ein-Zustands-Widerstand in dieser Struktur proportional zu der ersten Potenz der Durchbruchspannung ist, wird ein Ein-Zustands-Widerstand in einem Leistungs-MOSFET, der einen der Anmelderin bekannten, einfachen Driftbereich mit hohem Widerstand verwendet, proportional zu der zweiten Potenz der Durchbruchspannung (die genauer auch die 2,6-te Potenz der Durchbruchspannung sein kann unter Berücksichtigung der Abhängigkeit eines kritischen elektrischen Feldes von der Dotierungskonzentration der Driftschicht) erhöht. Somit wird erwartet, daß wenn eine feine pn-Wiederholungsstruktur, wie in Fig. 58 gezeigt ist, eingebaut werden kann, eine Einrichtung mit hoher Durchbruchspannung und nieder Ein-Zustands-Spannung erhalten werden kann.

Die oben erwähnte Druckschrift beschreibt, daß die in Fig. 58 gezeigte pn-Wiederholungsstruktur durch epitaktisches Wachsen von Silizium, das selektiv eine Dotierung in einem geätzten Graben enthält, oder durch Verursachen einer Kernumwandlung durch selektive Neutronenbestrahlung erhalten werden kann. Jedoch weist keines dieser Verfahren tatsächlich kaum die Möglichkeit des Erzielens einer pn-Wiederholungsstruktur auf. Dies wird im folgenden im Detail mit Bezug zu jedem Herstellungsverfahren, das in den Figuren gezeigt ist, beschrieben.

Es wird angemerkt, daß die oben erwähnte Druckschrift die folgenden Herstellungsverfahren schriftlich beschreibt und daß somit die folgende Beschreibung mittels der Figuren von der schriftlichen Beschreibung abgeleitet ist.

Fig. 62-64 sind schematisch Querschnittsansichten zum Darstellen eines Herstellungsverfahrens einer pn-Wiederholungsstruktur durch ein epitaktisches Wachstumsverfahren in der Reihe der Verfahrensschritte. Wie in Fig. 62 gezeigt ist, wird eine n<sup>+</sup>-Epitaxieschicht 301 durch ein epitaktisches Wachstumsverfahren auf einem n<sup>+</sup>-Bereich 304, der als ein Drain-n<sup>+</sup>-Bereich dient, gebildet.

Wie in Fig. 63 gezeigt ist, wird die n<sup>+</sup>-Epitaxieschicht 301 anisotrop geätzt, wobei die n<sup>+</sup>-Epitaxieschicht 301 mit einer Maske 310, die zum Beispiel aus einem Siliziumoxidfilm gebildet ist, maskiert ist. Dies verursacht, daß der n<sup>+</sup>-Bereich 304 freigelegt ist und ein Graben 301a in der n<sup>+</sup>-Epitaxieschicht 301 gebildet wird. Dann wird die Maske 310 entfernt.

Wie in Fig. 64 gezeigt ist, wird ein p<sup>+</sup>-Epitaxieschicht 302 selektiv in dem Graben 301a durch ein epitaktisches Wachstumsverfahren gebildet. Somit wird eine pn-Wiederholungsstruktur durch ein epitaktisches Wachstumsverfahren gebildet.

Mit einem solchen epitaktischen Wachstumsverfahren wächst ein zu bildender Film während eine Dotierung näher zu einem Substrat gezogen wird, was allgemein als ein Selbstdotierungsphänomen bekannt ist. Somit wird, sogar für ein

Wachstum bei einer niedrigen Temperatur von ungefähr 800°C, eine Dotierung näher an einem Substrat (eine Dotierung in der n-Epitaxieschicht 301) leicht in die p-Epitaxieschicht 302 während dem Wachsen der p-Epitaxieschicht 302 diffundiert. Somit können reine p- und n-Dotierungsschichten 301 und 302 in einer pn-Wiederholungsstruktur nicht in einer mikrometerfeinen Wiederholungsstruktur gebildet werden.

Weiter ist bekannt, daß die Dotierungskonzentration in dem epitaktischen Wachstumsverfahren bestenfalls auf ungefähr 5% gesteuert werden kann und daß es schwierig ist, sie auf 10% für den folgenden Fall zu steuern, bei dem der Wert der Dotierungskonzentration einer p-Dotierungsschicht so benötigt wird, daß er nahe an dem der Dotierungskonzentration einer n-Dotierungsschicht ist.

Fig. 65 und 66 sind schematische Querschnittsansichten zum Darstellen eines Herstellungsverfahrens einer Wiederholungsstruktur durch eine Kernumwandlung, die durch Neutronenstrahlung verursacht ist, in der Reihe der Herstellungsschritte. Mit Bezug zuerst auf Fig. 65 wird eine p-Epitaxieschicht 302 auf einem n-Bereich 304, der als ein Drain-n-Bereich dient, durch ein epitaktisches Wachstumsverfahren gebildet.

Wie in Fig. 66 gezeigt ist, wird eine Maske 350 gebildet und eine p-Epitaxieschicht 302 wird selektiv mit Neutronenstrahlen bestrahlt. Somit wird eine Kerntransformation in einem Teil des Siliziums (Si) derart verursacht, daß Phosphor (P) hergestellt wird. Der Phosphor ist ein n-Dotierstoff und somit wird eine n-Schicht 301 in der p-Epitaxieschicht 302, die mit Neutronenstrahlen bestrahlt wird, gebildet. Somit bildet eine Kerntransformation durch Neutronenstrahlung eine pn-Wiederholungsstruktur.

Für die Kernumwandlung durch selektive Neutronenbestrahlung gibt es momentan kein Maskenmaterial zum Bilden von Mustern mit Mikrometergröße. Während eine Maske einen Lichtabschirmungsfilm zum Abschirmen von Neutronenbestrahlung benötigt, ist ein Material, das typischerweise für einen Lichtabschirmungsfilm verwendet wird, zu dünn, um Neutronenstrahlen beim Bilden von Mustern von Mikrometergröße abzuschirmen. Weiterhin ist es, da ein paralleler Neutronenfluß nicht erhalten werden kann, unmöglich, eine feine Herstellung durch selektive Neutronenstrahlung, wie oben beschrieben wurde, zu erreichen.

Wie oben beschrieben wurde, gibt es, während die in der oben erwähnten Druckschrift beschriebene Struktur die Möglichkeit einer großen Verbesserung des Kompromisses zwischen der Durchbruchspannung und der Ein-Zustandsspannung der vorhandenen Einrichtungen stark zu verbessern, aufweist, auch den großen Nachteil, daß die Struktur nicht erhalten werden kann.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine feine pn-Wiederholungsstruktur derart zu ermöglichen, daß eine Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchspannung zur Verfügung gestellt wird, die in der Lage ist, den Kompromiß zwischen der Durchbruchspannung und der Spannung im Ein-Zustand davon stark zu verbessern.

Die Aufgabe wird durch die Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchspannung nach Anspruch 1 gelöst.

Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Eine Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchspannung weist ein Halbleitersubstrat, einen ersten Dotierungsbereich eines ersten Leitungstyps, einen zweiten Dotierungsbereich eines zweiten Leitungstyps, einen dritten Dotierungsbereich des zweiten Leitungstyps, einen vierten Dotierungsbereich des ersten Leitungstyps und eine Gateelektroden-schicht auf. Das Halbleitersubstrat weist eine erste Hauptoberfläche und eine dazu entgegengesetzte zweite Hauptoberfläche auf und weist eine Mehrzahl von Gräben auf, die an der ersten Hauptoberfläche vorgesehen sind. Der erste Dotierungsbereich ist innerhalb eines Bereiches des Halbleitersubstrates, der zwischen einem Graben und einem anderen Graben der Mehrzahl von Gräben eingeschlossen bzw. begrenzt bzw. schichtweise angeordnet ist, und an einer Seitenwandoberfläche eines Grabens gebildet. Der zweite Dotierungsbereich ist innerhalb des Bereiches, der zwischen dem Graben und dem anderen Graben begrenzt ist, an einer Seitenwandoberfläche des anderen Grabens gebildet und bildet einen pn-Übergang mit dem ersten Dotierungsbereich. Der dritte Dotierungsbereich ist an dem ersten und dem zweiten Dotierungsbereich näher zu der ersten Hauptoberfläche gebildet. Der vierte Dotierungsbereich ist zumindest an der ersten Hauptoberfläche oder einer Seitenwandoberfläche des einen Grabens derart gebildet, daß der vierte Dotierungsbereich gegenüber dem ersten Dotierungsbereich mit dem dazwischen vorgesehenen dritten Dotierungsbereich ist. Die Gateelektroden-schicht ist gegenüber dem dritten Dotierungsbereich, der zwischen dem ersten Dotierungsbereich und dem vierten Dotierungsbereich schichtweise angeordnet ist, mit einer dazwischen vorgesehenen Gateisolierschicht. Der erste Dotierungsbereich weist eine Dotierungskonzentrationsverteilung auf, die von einer Seitenwandoberfläche des einen Grabens diffundiert ist, und der zweite Dotierungsbereich weist eine Dotierungskonzentrationsverteilung auf, die von einer Seitenwandoberfläche des anderen Grabens diffundiert ist.

Eine Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchspannung weist einen ersten und einen zweiten Dotierungsbereich als eine pn-Struktur auf, die an einem Bereich gebildet ist, der zwischen einem ersten Graben und einem zweiten Graben begrenzt ist. Somit kann der Kompromiß zwischen der Durchbruchspannung und der Spannung im Ein-Zustand von vorhandenen Einrichtungen stark verbessert werden.

Weiterhin weist jeder von dem ersten und dem zweiten Dotierungsbereich eine Dotierungskonzentrationsverteilung auf, die von einer Seitenwandoberfläche des ersten und/bzw. des zweiten Grabens diffundiert ist. Eine Struktur mit einer Dotierungskonzentrationsverteilung kann zum Beispiel durch ein Verfahren der geneigten/schrägen Ionenimplantation gebildet werden. Das Ionenimplantationsverfahren weist eine viel größere Steuerbarkeit der Dotierungskonzentration auf als dies das epitaktische Wachstumsverfahren tut. Somit können eine feine pn-Wiederholungsstruktur in Mikrometergrößenordnung, bei der der Wert der p-Dotierungskonzentration nahe an dem der n-Dotierungskonzentration ist, und ein Leistungs-MOSFET mit einer solchen feinen Wiederholungsstruktur in Mikrometergrößenordnung mit guter Steuerbarkeit gebildet werden.

In einem bevorzugten Aspekt ist eine Sourcelektrode auf der ersten Hauptoberfläche derart gebildet, daß die Sourcelektrode elektrisch mit dem dritten und vierten Dotierungsbereich verbunden ist, und ist eine Drainelektrode auf der zweiten Hauptoberfläche derart gebildet, daß die Drainelektrode elektrisch mit dem ersten Dotierungsbereich verbunden ist.

Dies ermöglicht eine feine pn-Wiederholungsstruktur im Mikrometerbereich in einem longitudinalen Leistungs-MOSFET.

In einem anderen bevorzugten Aspekt ist eine Sourcelektrode auf der ersten Hauptoberfläche derart gebildet, daß die Sourcelektrode elektrisch mit dem dritten und dem vierten Dotierungsbereich verbunden ist, und ist eine Drainelektrode auf der ersten Hauptoberfläche so gebildet, daß die Drainelektrode elektrisch mit dem ersten Dotierungsbereich verbunden ist.

Dies ermöglicht eine feine pn-Wiederholungsstruktur im Mikrometerbereich in einem lateralen Leistungs-MOSFET. In einem anderen bevorzugten Aspekt ist der Zwischenraum zwischen benachbarten Gräben gleich oder weniger als ein Drittel der Tiefe des Grabens.

Dies ermöglicht eine pn-Wiederholungsstruktur mit feiner Größe.

In einem anderen bevorzugten Aspekt ist der erste Dotierungsbereich an einer von Seitenwandoberflächen des einen Grabens, die einander gegenüberliegen, gebildet und ein Dotierungsbereich des Leitungstyps, der von dem des ersten Dotierungsbereiches verschieden ist, ist an der anderen der Seitenwandoberflächen gebildet.

Dieses Struktur kann zum Beispiel durch das Verfahren der geneigten Ionenimplantation erhalten werden.

In einem anderen bevorzugten Aspekt ist der erste Dotierungsbereich an einer von Seitenwandoberflächen von einem Graben, die einander gegenüberliegen, gebildet und ein Dotierungsbereich des Leitungstyps, der der gleiche ist wie der des ersten Dotierungsbereiches, ist an der anderen Seitenwandoberfläche gebildet.

Diese Struktur kann zum Beispiel durch das Verfahren der geneigten Drehionenimplantation erhalten werden.

In einem anderen bevorzugten Aspekt ist ein Inneres eines Grabens mit Silizium, das eine Dotierungskonzentration von nicht mehr als 10% einer Dotierungskonzentration des ersten Dotierungsbereiches an einer Seitenwandoberfläche des einen Grabens aufweist, gefüllt.

Dies kann verhindern, daß die Ladungsdichte einer Füllschicht, die aus Silizium gebildet ist, deutlich die elektrische Feldverteilung beeinflußt, wenn die Füllschicht einen Graben füllt.

In einem anderen bevorzugten Aspekt ist ein fünfter Dotierungsbereich des ersten Leitungstyps, der eine Dotierungskonzentration aufweist, die größer ist als die des ersten Dotierungsbereiches, näher an der zweiten Hauptoberfläche als der erste und der zweite Dotierungsbereich vorgesehen. Die Drainelektrode ist elektrisch mit dem ersten Dotierungsbereich mit dem dazwischen vorgesehenen fünften Dotierungsbereich verbunden. Silizium, das ein Inneres eines Grabens erfüllt, ist von dem ersten und dem zweiten Dotierungsbereich durch eine Isolierschicht getrennt und ist in Kontakt mit dem fünften Dotierungsbereich.

In einem anderen bevorzugten Aspekt ist ein Inneres eines Grabens mit einer Isolierschicht gefüllt.

Da ein Graben mit einer Isolierschicht gefüllt ist und die Isolierschicht eine ausreichend geringe Ladungsdichte aufweist, beeinflußt die Ladungsdichte die elektrische Feldverteilung nicht deutlich.

In einem anderen bevorzugten Aspekt erstreckt sich eine Gateelektrodensicht in einer Richtung, in der sich ein und ein anderer Graben erstrecken.

In einem anderen bevorzugten Aspekt erstreckt sich eine Gateelektrodensicht in eine Richtung, in der die Gateelektrodensicht den einen und anderen Graben schneidet.

Dies ermöglicht ein Entwerfen mit höherem Freiheitsgrad. Weiterhin kann der Zwischenraum zwischen den Gates oder das Gateintervall erhöht werden und somit können ein Ansteigen der Eingabekapazität aufgrund der Erhöhung der Gatedichte und eine Verringerung der Schaltgeschwindigkeit verhindert werden.

In einem anderen bevorzugten Aspekt weist eine Gateelektrodensicht eine Grabengatestruktur auf und ist an der ersten Hauptoberfläche gebildet und nur auf dem ersten Dotierungsbereich vorgesehen.

Dies ermöglicht ein Entwerfen mit einem höheren Freiheitsgrad. Weiterhin kann die Gatekapazität weiter verringert werden und somit wird die Schaltgeschwindigkeit weiter verbessert.

In einem anderen bevorzugten Aspekt weist eine Gateelektrodensicht eine planare Gatestruktur auf und ist auf der ersten Hauptoberfläche gebildet.

Dies erlaubt, daß der Zwischenraum zwischen den Gates erhöht wird, verglichen mit dem Grabengatetyp und somit wird ein einfacher Prozeß zum Bilden einer Gatestruktur und ein Herstellen mit geringen Kosten ermöglicht.

Nach einem anderen Aspekt ist eine Wiederholungsstruktur gebildet, bei der eine pn-Struktur, die aus einem ersten Dotierungsbereich und einem dazu benachbarten zweiten Dotierungsbereich und einem Graben gebildet ist, wiederholt wird. Eine äußere Begrenzung der Wiederholungsstruktur ist mit einem Widerstandsfilm mit einer dazwischen vorgesehenen Isolierschicht bedeckt und das Ende des Widerstandsfilmes, das näher an der ersten Hauptoberfläche ist, ist elektrisch mit einer Sourcelektrode verbunden, und das Ende des Widerstandsfilmes, das näher an der zweiten Hauptoberfläche ist, ist elektrisch mit einer Drainelektrode verbunden.

Dies ermöglicht, daß ein elektrisches Feld einer pn-Wiederholungsstruktur mit einer Äquipotentialoberfläche an einem Endabschnitt der Wiederholungsstruktur ohne Widerspruch verbunden ist und eine Durchbruchspannung der pn-Wiederholungsstruktur wird intakt erhalten. Weiterhin dient ein Widerstandsfilm, der mit einer Sourcelektrode und mit einer Drainelektrode verbunden ist, als eine Widerstandsfeldplatte und dies verhindert Effekte von Ionen und ähnlichem innerhalb eines Versiegelungsharzes oder ähnlichem und somit kann auf lange Dauer eine stabile Durchbruchspannung erhalten werden. Weiterhin wird nur eine kleine Fläche für die Endstruktur benötigt und somit kann mit geringen Kosten hergestellt werden.

In einem anderen bevorzugten Aspekt ist eine Wiederholungsstruktur gebildet, bei der eine pn-Struktur, die aus einem ersten Dotierungsbereich und einem dazu benachbarten zweiten Dotierungsbereich und einem Graben gebildet ist, wiederholt ist. Die Wiederholungsstruktur ist an ihrer äußeren Begrenzung mit einem Halbleiterbereich eines ersten Leitungstyps verbunden und weist eine Struktur auf, bei der eine Spitze oder ein Ende einer Verarmungsschicht, die sich von der Wiederholungsstruktur ausdehnt/erstreckt, wenn eine Spannung an die Drainelektrode angelegt wird, innerhalb des Halbleiterbereiches endet.

Dies ermöglicht eine Endstruktur mit einer einfachen Wiederholungsstruktur.

In einem anderen bevorzugten Aspekt ist eine Diffusionslänge einer Dotierung in dem ersten Dotierungsbereich von einer Seitenwandoberfläche von einem Graben kürzer als eine Breite des ersten Dotierungsbereiches zwischen der Seitenwandoberfläche des einen Grabens und einem pn-Übergang des ersten und des zweiten Dotierungsbereiches. Eine

Diffusionslänge einer Dotierung in dem zweiten Dotierungsbereich von einer Seitenwandoberfläche eines anderen Grabens ist kürzer als eine Breite des zweiten Dotierungsbereiches zwischen der Seitenwandoberfläche des anderen Grabens und dem pn-Übergang des ersten und des zweiten Dotierungsbereiches.

- 5 Dies entspannt Änderungen des elektrischen Feldes in der pn-Wiederholungsstruktur und somit kann eine elektrische Feldkonzentration verhindert werden.

In einem anderen bevorzugten Aspekt ist eine Wiederholungsstruktur gebildet, bei der ein pn-Struktur, die aus einem ersten Dotierungsbereich und einem dazu benachbarten zweiten Dotierungsbereich und einem Graben gebildet ist, wiederholt ist. Der Zwischenraum zwischen den Gräben ist schmaler an der äußeren Begrenzung bzw. an der Peripherie als an dem Zentrum bzw. im Mittelpunkt der Wiederholungsstruktur an der ersten Hauptoberfläche.

- 10 Dies schränkt einen Abfall der Durchbruchsspannung ein und der Abfall der Durchbruchsspannung wird weniger wahrscheinlich verursacht.

In einem anderen bevorzugten Aspekt füllt eine Füllschicht, die Silizium als ein Material enthält, ein Inneres eines Grabens. Eine Dotierungskonzentration der Füllschicht ist geringer als die eines Halbleitersbereiches.

- 15 In einem anderen bevorzugten Aspekt ist die gesamte Menge einer Dotierung, die entgegengesetzt im Leitungstyp zu der des Halbleitersbereiches ist, größer, wenn die gesamte Menge einer Dotierung des ersten Leitungstyps, die in dem ersten und dem zweiten Dotierungsbereich eingebracht ist, mit der einer Dotierung des zweiten Leitungstyps, die in dem ersten und zweiten Dotierungsbereich eingebracht ist, verglichen wird.

- 20 In einem anderen bevorzugten Aspekt ist das Halbleitersubstrat ein SOI-Substrat, das ein Substrat, das näher an der zweiten Hauptoberfläche angeordnet ist, und eine Halbleiterschicht, die näher an der ersten Hauptoberfläche und isoliert von dem Substrat angeordnet ist, aufweist, und der erste, zweite, dritte und vierte Dotierungsbereich sind in der Halbleiterschicht gebildet.

Dies ermöglicht einen lateralen Leistungs-MOSFET des SOI-Typs.

Weiterhin kann, da eine kleine pn-Wiederholungsstruktur im Mikrometerbereich mit einer guten Steuerbarkeit gebildet werden kann, der Kompromiß zwischen der Durchbruchsspannung und der Spannung im Ein-Zustand einer vorhandenen

- 25 Einrichtung stark verbessert werden. Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aufgrund der Beschreibung von Ausführungsformen anhand der Figuren. Von den Figuren zeigen:

Fig. 1 eine schematische Querschnittsansicht einer Anordnung einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung gemäß einer ersten Ausführungsform;

- 30 Fig. 2 eine Nettodotierungskonzentrationsverteilung entlang des Y-Y'-Querschnitts, der in Fig. 1 gezeigt ist;

Fig. 3 ein Diagramm zum Darstellen von Parametern der Dotierungsverteilung in der in Fig. 1 gezeigten Struktur;

Fig. 4 eine elektrische Feldstärkenverteilung entlang des Y-Y'-Querschnittes, der in Fig. 1 gezeigt ist, in der X-Richtung in einem Aus-Zustand;

- 35 Fig. 5-18 schematische Querschnittsansichten, die ein Herstellungsverfahren einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der ersten Ausführungsform in der Reihe der Prozessschritte zeigen;

Fig. 19 ein Ergebnis einer Simulation einer Durchbruchsspannung und eines Widerstandes im Ein-Zustand der in Fig. 58 gezeigten Struktur;

Fig. 20 ein Ergebnis einer Simulation einer Dotierungsverhältnisabhängigkeit einer Durchbruchsspannung in der in Fig. 58 gezeigten Struktur;

- 40 Fig. 21 ein Ergebnis einer Simulation einer Durchbruchsspannung und eines Widerstandes im Ein-Zustand der in Fig. 1 gezeigten Struktur;

Fig. 22 ein Ergebnis einer Simulation einer Dotierungsverhältnisabhängigkeit einer Durchbruchsspannung in der in Fig. 1 gezeigten Struktur;

- 45 Fig. 23 eine schematische Querschnittsansicht einer Anordnung einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend einer zweiten Ausführungsform;

Fig. 24 eine Nettodotierungskonzentrationsverteilung entlang einem Y-Y'-Querschnitt, der in Fig. 23 gezeigt ist;

Fig. 25-30 schematische Querschnittsansichten, die ein Herstellungsverfahren einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung gemäß der zweiten Ausführungsform in der Reihe der Prozessschritte zeigen;

- 50 Fig. 31 eine schematische perspektivische Ansicht einer Anordnung einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend einer dritten Ausführungsform;

Fig. 32 eine schematische Querschnittsansicht einer Anordnung einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend einer vierten Ausführungsform;

- 55 Fig. 33 ein Ergebnis einer Simulation einer Durchbruchsspannung und eines Widerstandes im Ein-Zustand der in Fig. 32 gezeigten Anordnung;

Fig. 34 ein Ergebnis einer Simulation einer Dotierungsverhältnisabhängigkeit einer Durchbruchsspannung der in Fig. 32 gezeigten Struktur;

Fig. 35 eine schematische perspektivische Ansicht einer Anordnung einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend einer fünften Ausführungsform;

- 60 Fig. 36 eine schematische perspektivische Ansicht einer Anordnung einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung gemäß einer sechsten Ausführungsform;

Fig. 37 eine schematische Querschnittsansicht, die einen ersten Schritt des Herstellungsverfahrens einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der sechsten Ausführungsform zeigt;

Fig. 38 eine schematische Querschnittsansicht, die einen zweiten Schritt des Herstellungsverfahrens der Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung der sechsten Ausführungsform zeigt;

- 65 Fig. 39 und 40 schematische Querschnittsansichten, die dem Querschnitt A-A' bzw. B-B' von Fig. 38 entsprechen, die einen dritten Schritt des Herstellungsverfahrens der Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der sechsten Ausführungsform zeigen;

Fig. 41 eine schematische Querschnittsansicht, die einen vierten Schritt des Herstellungsverfahrens einer Halbleiter-



einrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der sechsten Ausführungsform zeigt;

Fig. 42 und 43 schematische Querschnittsansichten entlang der Linie A-A' bzw. B-B' von Fig. 41, die den vierten Schritt des Herstellungsverfahrens der Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung der sechsten Ausführungsform zeigen;

Fig. 44 und 45 schematische Querschnittsansichten entsprechend dem A-A' bzw. B-B' Querschnitt von Fig. 41, die einen fünften Schritt des Herstellungsverfahrens der Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung der sechsten Ausführungsform zeigen;

Fig. 46 und 47 schematische Querschnittsansichten, die dem A-A' bzw. B-B' Querschnitt von Fig. 41 entsprechen, die einen sechsten Schritt des Herstellungsverfahrens der Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der sechsten Ausführungsform zeigen;

Fig. 48 eine schematische perspektivische Ansicht einer Anordnung einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung gemäß einer siebten Ausführungsform;

Fig. 49 eine schematische perspektivische Ansicht, die einen ersten Schritt eines Herstellungsverfahrens einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der siebten Ausführungsform zeigt;

Fig. 50 und 51 schematische perspektivische Ansichten entlang der Linie A-A' bzw. B-B' von Fig. 40, die einen ersten Schritt des Herstellungsverfahrens der Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der sechsten Ausführungsform zeigen;

Fig. 52 und 53 schematische Querschnittsansichten entsprechend dem A-A' bzw. B-B' Querschnitt von Fig. 41, die einen sechsten Schritt des Herstellungsverfahrens der Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung gemäß der siebten Ausführungsform zeigen;

Fig. 54 ein Ergebnis einer Simulation der Abhängigkeit des Widerstandes im Ein-Zustand von dem Abstand zwischen den Gates in der in Fig. 49 gezeigten Struktur;

Fig. 55, 56 und 57 perspektivische Ansichten einer Anordnung einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der achten, neunten bzw. zehnten Ausführungsform;

Fig. 58 eine schematische Querschnittsansicht einer Anordnung einer der Anmelderin bekannten Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung, die von dem Dokument hergeleitet ist;

Fig. 59 eine Nulldotierungskonzentrationsverteilung entlang eines Y-Y'-Querschnitts von Fig. 58;

Fig. 60 eine elektrische Feldstärkenverteilung entlang eines Y-Y'-Querschnitts, der in Fig. 58 gezeigt ist, in der X-Richtung in einem Aus-Zustand;

Fig. 61 eine elektrische Feldstärkenverteilung entlang des X-X'-Querschnitts, der in Fig. 58 gezeigt ist, in einem Aus-Zustand;

Fig. 62-64 schematische Querschnittsansichten in der Reihenfolge der Prozessschritte, wenn eine der Anmelderin bekannte Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung unter Verwendung des epitaktischen Wachstumsverfahrens hergestellt wird;

Fig. 65 und 66 schematische Querschnittsansichten in der Reihenfolge der Prozessschritte, wenn eine der Anmelderin bekannte Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung durch selektive Neutronenbestrahlung hergestellt wird.

#### Erste Ausführungsform

Wie in Fig. 1 gezeigt ist, ist eine erste Hauptoberfläche eines Halbleitersubstrates mit einer Mehrzahl von wiederholten Gräben 7a vorgesehen. Es ist ein n- und ein p-Diffusionsbereich 1 und 2 in einem Bereich, der durch die Gräben 7a begrenzt ist, vorgesehen und der n-Diffusionsbereich 1 ist an einer Seitenwandoberfläche von einem Graben 7a vorgesehen und der p-Diffusionsbereich 2 ist an einer Seitenwandoberfläche eines anderen Grabens 7a vorgesehen. Die n- und p-Diffusionsbereiche 1 und 2 bilden einen pn-Übergang entlang der Richtung der Tiefe des Grabens 7a.

Eine p-Wanne 3 (auch als ein p-Basisbereich bezeichnet) ist näher an der ersten Hauptoberfläche als die n- und p-Diffusionsbereiche 1 und 2 gebildet. Es ist ein Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 innerhalb der p-Wanne 3 an einer Seitenwandoberfläche von einem Graben 7a vorgesehen. Eine Gateelektrodenschicht 9 ist entlang einer Seitenwandoberfläche von einem Graben 7a so vorgesehen, daß die Gateelektrodenschicht 9 gegenüber der p-Wanne 3 ist, die zwischen dem Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 und dem n-Diffusionsbereich 1 begrenzt bzw. schichtweise angeordnet ist, wobei eine Gateisolierschicht 8 zwischen der p-Wanne 3 und der Gateelektrodenschicht 9 vorgesehen ist.

Der Graben 7a ist mit einer Füllschicht 7, die aus einem Isolator von Silizium mit niedriger Dotierungskonzentration (einschließlich ein Einkristall, ein Polykristall, kein Kristall und ein Feinkristall), einem Siliziumoxidfilm oder ähnlichem gebildet ist, gefüllt. Ein p<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 6 ist näher an der ersten Hauptoberfläche als die Füllschicht 7 vorgesehen und ist in Kontakt mit der p-Wanne 3.

Weiterhin ist ein Drain-n<sup>+</sup>-Bereich 4 näher an der zweiten Hauptoberfläche gebildet als eine wiederholende Struktur von n- und p-Typ Diffusionsbereichen 1 und 2 und einem Graben 7a (im folgenden als eine p-n-Grabenwiederholungsstruktur bezeichnet).

Eine Sourceelektrodenschicht 10 ist auf der ersten Hauptoberfläche so gebildet, daß die Sourceelektrodenschicht 10 elektrisch mit der p-Wanne 3, dem Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 und dem p<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 6 verbunden ist. Eine Drainelektrodenschicht 11 ist auf der zweiten Hauptoberfläche so gebildet, daß die Drainelektrodenschicht 11 elektrisch mit dem Drain-n<sup>+</sup>-Bereich 4 verbunden ist.

Die Struktur der oben beschriebenen Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung unterscheidet sich von dem der Anmelderin bekannten Beispiel, das in Fig. 58 gezeigt ist, speziell darin, daß der p-n-Strukturabschnitt 1, 2 zwischen den Gräben 7a schichtweise vorgesehen ist und daß eine n-Dotierung von einer Seitenoberfläche von einem Graben 7a derart eingebracht ist, daß ein n-Diffusionsbereich 1 gebildet ist, und daß eine p-Dotierung ist von einer Seitenwandoberfläche eines anderen Grabens 7a derart eingebracht, daß der p-Diffusionsbereich 2 gebildet ist. Aufgrund einer solchen Struktur weist der n-Diffusionsbereich 1 eine Dotierungskonzentrationsverteilung auf, die von der Seitenwandoberfläche eines Grabens 7a diffundiert ist, und der p-Diffusionsbereich 2 weist eine Dotierungskonzentrationsverteilung

auf, die von der Seitenwandoberfläche des anderen Grabens 7a diffundiert ist.

In anderen Worten ist ein Vorteil der Struktur eine aktuelle Herstellung zu ermöglichen, die nicht mit der Anmelderin bekannten Strukturen erzielt werden kann. Während die Details im folgenden beschrieben werden, soll auf folgenden Punkt hingewiesen werden. Zum Beispiel ist eine Scheibe (Wafer) mit einer n-Schicht, die auf dem Drain-n<sup>+</sup>-Bereich 4 durch epitaktisches Wachsen gebildet ist, mit einer p-Wanne 3 durch Ionenimplantation, thermischer Diffusion und ähnlichem vorgesehen. Dann wird der Graben 7a durch Grabenätzen oder ähnlichem gebildet und eine schräge Ionenimplantation einer p-Dotierung wird versetzt bzw. geneigt, von einer Normalen zu dem Wafer um einen Neigungswinkel  $\theta$  der in Fig. 1 gezeigt ist, durchgeführt:

$$\theta = \arctan(Wd/Ld) \quad (6)$$

Dann wird der Neigungswinkel zu  $-\theta$  derart geändert, daß eine n-Dotierung schräg ionenimplantiert wird. Somit wird der pn-Strukturabschnitt 1, 2 in einem Bereich, der zwischen den Gräben 7a schichtweise angeordnet ist, gebildet.

Eine Nettodotierungskonzentration eines Querschnitts entlang der Linie Y-Y' in der Struktur der Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung ist in Fig. 2 gezeigt. Wie in Fig. 2 gezeigt ist, ist die Dotierungskonzentration höher an einer Seitenwandoberfläche 7a und niedriger zu dem Inneren des Siliziums, da eine Dotierung von einem Graben 7a eingebracht ist. Wenn eine thermische Diffusion durchgeführt wird, wird die Dotierung fast gemäß einer Gauß-Verteilung verteilt und stellt eine Verteilung dar, wie zum Beispiel die, die in Fig. 3 gezeigt ist. Die Form einer Dotierungsverteilung ist bestimmt, wenn die Oberflächendotierungskonzentrationen  $C_{sn}$  und  $C_{sp}$  und die Diffusionslängen  $CHR_n$  und  $CHR_p$  als Parameter definiert sind. In diesem Beispiel ist ein Übergang, der durch einen n- und p-Diffusionsbereich 1 bzw. 2 gebildet ist, an einer Position gebildet, bei der die Dotierungsdiffusionen von beiden Seiten gleich sind.

Wenn Ionen schräg in einen Graben, der ein großes Aspektverhältnis aufweist, implantiert werden, werden die Ionen reflektiert und/oder abgelenkt an einer Seitenwandoberfläche des Grabens und somit werden die Ionen auch in eine ungewünschte Seitenwandoberfläche implantiert. Die praktische Nettodotierungsverteilung kann jedoch zum Beispiel durch Erhöhen der Injektionsenergie erhalten werden.

Weiterhin wird, wie später beschrieben wird, die p-n-Grabenwiederholungsstruktur typischerweise in einem n-Halbleiter mit niedriger Dotierungskonzentration aufgrund der Randbedingungen der Endstruktur am Umfang der Vorrichtung gebildet. In diesem Beispiel soll n-Dotierung, die in dem n-Halbleiter enthalten ist, als eine Hintergrunddotierung in dem n- und p-Diffusionsbereich 1 und 2 enthalten sein.

Beim Füllen des Grabens 7a mit verschiedenem Silizium ist die Menge einer Dotierung der Füllschicht 7 wünschenswert ausreichend gering, wenn sie nicht größer als 10% der Dotierungsmengen des n- und p-Diffusionsbereiches 1 und 2 ist, so daß die Ladungsdichte innerhalb des Grabens 7a die elektrische Feldverteilung nicht beeinflusst.

Fig. 4 zeigt eine elektrische Feldverteilung einer p-n-Grabenwiederholungsstruktur in der X-Richtung entlang der Linie Y-Y', wenn die Drainspannung in der in Fig. 1 gezeigten Struktur in einem Aus-Zustand erhöht wird und die p-n-Grabenwiederholungsstruktur ausreichend verarmt ist. Wie in Fig. 4 gezeigt ist, ändert sich, während das elektrische Feld in der X-Richtung in dem n-Diffusionsbereich 1 erhöht ist und in dem p-Diffusionsbereich 2 verringert ist, die Dotierungskonzentration in der X-Richtung entsprechend der Gauß-Verteilung und somit ist das elektrische Feld in der X-Richtung in der Form einer Fehlerfunktion, die diese integriert. Da weiterhin das Innere eines Grabens 7a durch einen Isolator, wie zum Beispiel Silizium mit einer niedrigen Dotierungskonzentration, Siliziumoxid oder ähnlichem, gebildet ist, ist die elektrische Felddichte des Inneren ausreichend gering und somit ist das elektrische Feld in der X-Richtung innerhalb des Grabens 7a konstant.

In diesem Beispiel ist ebenfalls, da das Potential auf den gleichen Pegel in einer Periode aufgrund der Wiederholungsstruktur zurückgeführt werden muß, ein Offset so bestimmt, daß eine Fläche  $S_1$  (schraffierte Fläche) an dem positiven Abschnitt des elektrischen Feldes in der X-Richtung gleich ist zu einer Fläche  $S_2$  (schraffierte Fläche) an dem negativen Abschnitt. Eine analytische Darstellung der Durchbruchspannungsscharakteristika, die durch diese Struktur erhalten werden, ist komplex und wird daher nicht weiter beschrieben.

Nun wird ein Verfahren des Herstellens einer Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der vorliegenden Ausführungsform beschrieben.

Wie in Fig. 5 gezeigt ist, ist auf einem n-Substrat 4 mit hoher Dotierungskonzentration als ein Drain-n<sup>+</sup>-Bereich eine n-Epitaxiewachstumsschicht 4a mit einer ausreichend geringen Dotierungskonzentration verglichen mit der Konzentrationsverteilung des Dotierungsdiffusionsprozesses, der später beschrieben wird, gebildet. Praktisch muß eine Dotierungskonzentration der n-Epitaxiewachstumsschicht 4a nur in einem Bereich von  $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  bis  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  sein. Wenn eine gewünschte Durchbruchsspannung einer Einrichtung ungefähr 300 V beträgt, muß die Dicke der n-Epitaxiewachstumsschicht 4a nur ungefähr 20  $\mu\text{m}$  betragen. Weiterhin ist es anstatt des Bildens der n-Epitaxiewachstumsschicht 4a möglich, ein Substrat mit ungefähr der gleichen Dotierungskonzentration zu verwenden und es zu einer gewünschten Dicke zu polieren.

Wie in Fig. 6 gezeigt ist, wird ein p-Diffusionsbereich 3 als ein p-Basisbereich eines MOSFET auf einer Oberfläche der n-Epitaxiewachstumsschicht 4a unter Verwendung eines existierenden Dotierungsdiffusionsverfahrens gebildet. Auf dem p-Diffusionsbereich 3 ist ein Dreischichtstapelstruktur gebildet, die einen thermischen Oxidfilm 12, einen CVD (chemisches Abscheiden aus der Gasphase)-Siliziumnitridfilm 13 und einen CVD-Siliziumoxidfilm 14 so aufweist, daß die Struktur in einer gewünschten Form vorliegt. Die Stapelstruktur 12, 13, 14 wird als eine Maske benutzt und die unterliegende Schicht wird anisotrop geätzt.

Wie in Fig. 7 gezeigt ist, durchdringt das Ätzen den p-Basisbereich 3 und die n-Epitaxiewachstumsschicht 4a derart, daß ein Graben 7a gebildet wird, der den n<sup>+</sup>-Substratbereich 4 mit hoher Dotierungskonzentration erreicht.

Bei dem anisotropen Siliziumätzprozeß wird ein Schutzfilm gegen Ätzen an einem Mesa-Abschnitt benötigt. Somit ist ein Siliziumätzwiderstandsfilm, wie zum Beispiel ein CVD-Siliziumoxidfilm 14, vorgebildet und dann werden typische Photolithographie- und Ätzprozesse zum Bemustern verwendet. Wie oben beschrieben wurde, benötigt ein Graben 7a eine sehr präzise Breite und Aspektverhältnis und somit wird ein Trockenätzen unter Verwendung eines Gases der Flu-

orgruppe, wie zum Beispiel  $\text{NF}_3$ ,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{SiF}_4$  durchgeführt.

Während des oben erwähnten Trockenätzens wird ein dünner Film, der allgemein als ein Abscheidungsfilm bezeichnet wird, dessen Zusammensetzung ähnlich zu der des Siliziumoxidfilmes ist, an einer Seitenwand des Grabens 7a gebildet. Somit wird der Abscheidungsfilm durch ein Mittel der Wasserstofffluorid ( $\text{HF}$ )-Gruppe direkt nach dem anisotropen Siliziumätzen entfernt.

Weiterhin ist es anstatt des Trockenätzprozesses möglich, ein Naßätzen unter Verwendung einer basischen Lösung von  $\text{KOH}$ , Hydrazin oder ähnlichem, das eine starke Anisotropie in Abhängigkeit der Orientierung des Siliziumkristalls aufweist, durchzuführen. Diese basischen Ätzmittel enthalten mehr Komponenten, die leicht mobile Ionen eines Atoms werden, wie zum Beispiel K, und bilden allgemein Dotierungen und Ätzmittel selbst als basische Ätzmittel. Folglich ist dieser Prozeß, obwohl ein vorsichtiges Waschverfahren als Nachätzprozeß benötigt werden wird, praktisch schwierig durchzuführen und somit ist das oben erwähnte Trockenätzen effizienter.

Trockenätzvorrichtungen sind jedoch sehr teuer und haben eine kleine Ätzrate und weisen keine Chargenprozeßfähigkeit zum Verarbeiten einer Mehrzahl von Scheiben zu einer Zeit auf und weisen somit eine schlechte Massenproduktivität auf. Somit kann das Naßätzen unter Berücksichtigung der Kosten gegenüber der Herstellungseffizienz ausgewählt werden.

Zum Bilden des p-Diffusionsbereiches 3 an einem Abschnitt, der als Vorsprung eines Halbleiters, der zwischen Gräben 7a schichtweise angeordnet ist, wie in Fig. 7 gezeigt ist, dient, können folgende Schritte:

- (1) Durchführen einer Ionenimplantation vor dem Bilden des Grabens 7a,
- (2) Durchführen eines epitaktischen Wachsens vor dem Bilden des Grabens 7a,
- (3) Durchführen einer Diffusion aus der Dampfphase vor dem Bilden des Grabens 7a

oder ähnliche verwendet werden. Dann wird eine geeignete Wärmebehandlung derart durchgeführt, daß eine gewünschte Tiefe der p-Basis erhalten wird.

Die Tiefe des p-Basisbereiches 3 oder des epitaktischen Wachstumsbereiches 4a wird flacher als die benötigte, fertiggestellte Tiefe eingestellt, wobei die gesamte Verarbeitungszeitdauer bis zum abschließenden Schritt berücksichtigt wird. Allgemein ist jedoch die Zeitdauer der Wärmebehandlung, die für den Schritt der Diffusion einer Dotierung von einer Seitenwand des Grabens 7a, das später beschrieben wird, relativ kürzer als ein Wärmebehandlungsschritt, der zum Bilden des p-Basisbereiches 3 benötigt wird. Somit wird der p-Basisbereich 3 vor dem Grabenbildungsschritt durchgeführt. Wenn die Zeitdauer der Wärmebehandlung, die für den Schritt der Diffusion von der Seitenwand des Grabens 7a benötigt wird, ausreichend zum Bilden des p-Basisbereiches 3 ist, kann der p-Basisbereich 3 direkt nach dem Bilden des Grabens 7a gebildet werden.

Wie in Fig. 8 gezeigt ist, wird eine schräge Ionenimplantation derart benutzt, daß Bor (B) in eine Seitenwandoberfläche des Grabens 7a implantiert wird und somit ein Borimplantationsbereich 2a gebildet wird.

Wie in Fig. 9 gezeigt ist, wird eine schräge Ionenimplantation derart durchgeführt, wobei ihr Gradient entgegengesetzt zu dem der oben beschriebenen Borimplantation ist, daß Phosphor (P) in die andere Seitenwandoberfläche des Grabens 7a implantiert wird und somit ein Phosphorimplantationsbereich 1a gebildet wird.

Während das Verfahren des Einbringens einer Dotierung von einer Seitenwandoberfläche des Grabens 7a ein schräges Ionenimplantationsverfahren aufweist, können auch ein Gasdiffusionsverfahren, das  $\text{B}_2\text{H}_6$ -Gas,  $\text{PH}_3$ -Gas oder ähnliches verwendet, und ein Verfahren, das eine Festkörperquelle von Bornitrid oder ähnlichem, das auch ein Typ einer Gasdiffusion ist, benutzt, verwendet werden. Weiterhin kann ein flüssiges Glas einer Diffusionsart, das als SOG (schleuderbeschichtetes Glas) bezeichnet wird, in hoher Konzentration in den Graben 7a gegossen bzw. gebildet werden und die Diffusionsart kann durch eine Wärmebehandlung diffundiert werden. Für diese Verfahren kann jedoch eine selektive Diffusion in nur einer Seitenoberfläche des Grabens 7a nicht erreicht werden und weiterhin beträgt die Steuerbarkeit der Dotierungskonzentrationsverteilung einer Diffusionsart, die so erhalten wurde, maximal 10% und somit sind diese Verfahren ungeeignet für eine sehr präzise Dotierungsdiffusion und Fixierung, die für die Struktur entsprechend der vorliegenden Erfindung benötigt werden.

Somit wird das Ionenimplantationsverfahren, wie oben beschrieben wurde, verwendet. Allgemein beträgt für das Ionenimplantationsverfahren die Steuerbarkeit der Atomkonzentration, die implantiert ist, sehr genau nicht weniger als 0,1% und die schließlich abschließende Konzentration und das Diffusionsprofil unter Berücksichtigung der Variation der anderen Prozeßschritte kann in einer extrem hohen Präzision von nicht mehr als 3% kontrolliert werden.

Weiterhin ist das Aspektverhältnis, das Abmessungsverhältnis von der Tiefe zu der Öffnung, des Grabens 7a so extrem groß wie ungefähr 20 : 1. Folglich muß eine Dotierung in eine Seitenwandoberfläche eines Grabens 7a durch eine Ionenimplantation, die relativ zu einer Normalen zu einer Scheibenoberfläche um einen Winkel von ungefähr  $\tan^{-1}(1/20) \approx 2,9^\circ$  beträgt. Beim Implantieren von Ionen nur in eine gewünschte Seitenwandoberfläche eines Grabens ist eine gute Steuerbarkeit des Winkels zwischen einer Scheibe und einem Ionenstrahl, der injiziert wird, das wichtigste in diesem Schritt. Somit werden p- und n-Dotierungen getrennt in die beiden Seitenoberflächen eines Grabens implantiert.

Wie in Fig. 10 gezeigt ist, werden die beiden Bereiche 1a und 2a gleichzeitig wärmebehandelt, so daß die Profile der p- und n-Dotierungen, die durch die Ionenimplantation eingebracht sind, das schließlich benötigte Diffusionsprofil erreichen.

Bei der Wärmebehandlung wird der Graben 7a mit einem CVD-Siliziumoxidfilm als ein Isolierfilm so schnell wie möglich nach der Ionenimplantation derart gefüllt, daß die ionenimplantierten Atome daran gehindert werden, von den Seitenwandoberflächen des Grabens 7a nach außen in die Atmosphäre zu diffundieren. Weiterhin kann, da der Graben 7a so schnell als möglich gefüllt wird, verhindert werden, daß Staub in der Atmosphäre während des Herstellungsprozesses in das Innere des Grabens 7a eindringt.

Zum Füllen des Grabens 7a mit Silizium als ein Isolierfilm wird eine Wärmebehandlung zuerst durchgeführt mit einem dünnen thermischen Oxidfilm, der anstatt des vorher erwähnten CVD-Siliziumoxidfilmes vorgesehen ist. Dann wird ein Verfahren, wie zum Beispiel ein Trockenätzen, derart verwendet, daß der Oxidfilm zumindest an der Bodenoberfläche

che des Grabens 7a entfernt wird und dann wird ein CVD-Verfahren oder ähnliches derart verwendet, daß der Graben 7a mit dem vorher erwähnten Silizium mit verschiedenen Formen gefüllt wird.

Wie in Fig. 11 gezeigt ist, werden p- und n-Dotierungen, die durch die Ionenimplantation eingebracht sind, durch die Wärmebehandlung diffundiert. Somit werden ein n-Diffusionsbereich 1 und p-Diffusionsbereich 2 in einem Bereich gebildet, der schichtweise zwischen den Gräben 7a liegt. Ein Filmrückbildungsschritt durch ein Ätzen der gesamten Oberfläche, d. h. ein Zurückätzen, wird auf einem Isolierfilm 7 durchgeführt.

Wie in Fig. 12 gezeigt ist, erlaubt dies, daß eine Seitenoberfläche des p-Basisbereiches 3 an einer Seitenwandoberfläche des Grabens 7a freigelegt wird. Es wird angemerkt, daß wenn der Isolierfilm 7 entfernt wird, die obere CVD-Siliziumfilmschicht 14 der Dreischichtstapelstruktur auch entfernt wird.

Obwohl der Zurückätzschritt des Isolierfilmes 7 entweder ein Trocknätzen oder ein Naßätzen sein kann, ist es allgemein für eine präzise Verarbeitung bevorzugt, daß es ein Trocknätzen ist.

Wie in Fig. 13 gezeigt ist, wird dann ein thermisches Oxidationsverfahren oder ähnliches verwendet, daß eine Gateisolierschicht 8 aus einem Siliziumoxidfilm auf dem Siliziumabschnitt, der an der Seitenwandoberfläche des Grabens 7a freigelegt ist, gebildet wird.

Wie in Fig. 14 gezeigt ist, wird ein polykristalliner Siliziumfilm 9 mit eingebrachter Dotierung (ein dotierter Polysiliziumfilm) durch das CVD-Verfahren derart gebildet, daß er einen oberen Abschnitt des Grabens 7a füllt und auch den CVD-Siliziumnitridfilm 13 bedeckt. Der dotierte Polysiliziumfilm 9 wird zurückgeätzt.

Wie in Fig. 15 gezeigt ist, wird somit eine Gateelektrodenschicht 9 gegenüber einer Seitenoberfläche des p-Basisbereiches 3 mit einer dazwischen vorgesehenen Gateisolierschicht 8 gebildet. Dann werden der CVD-Siliziumnitridfilm 13 und der thermische Oxidfilm 12 nacheinander entfernt.

Wie in Fig. 16 gezeigt ist, wird somit eine obere Oberfläche des p-Basisbereiches 3 freigelegt.

Wie in Fig. 17 gezeigt ist, wird ein Abdeckoxidfilm 15 durch das thermische Oxidationsverfahren auf dem freigelegten p-Basisbereich 3 und dem gefüllten Graben 7a gebildet. Ein Resistmuster 21a mit einer gewünschten Form wird durch eine typische Photolithographietechnik auf dem Abdeckoxidfilm 15 gebildet. Das Resistmuster 21a wird als eine Maske benutzt und es wird eine Ionenimplantation derart durchgeführt, daß ein Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 in dem p-Basisbereich 3 gebildet wird. Nachdem das Resistmuster 21a entfernt ist, werden eine typische Photolithographie- und Ätztechnik derart benutzt, daß der Abdeckoxidfilm 15 selektiv nur auf dem p-Basisbereich 3 entfernt wird.

Wie in Fig. 18 gezeigt ist, wird eine Sourceelektrodenschicht 10 in Kontakt mit der Oberfläche des so freigelegten p-Basisbereiches 3 gebildet.

Es wird angemerkt, daß das vorliegende Herstellungsverfahren mit Bezug zu einem Beispiel ohne den in Fig. 1 gezeigten p<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 6 beschrieben wurde, wobei der p<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 6 an der ersten Hauptoberfläche innerhalb des Grabens 7a, der durch die Gateelektrodenschicht und den p-Basisbereich 3 begrenzt ist, gebildet werden kann, wenn nötig, durch Bilden der Gateelektrodenschicht 9 näher zu der Seitenwandoberfläche des Grabens 7a, an der der n-Diffusionsbereich 1 gebildet ist.

Wenn man nun annimmt, daß ein MOSFET in der Größenordnung von 300 V benutzt wird, wird ein Ergebnis einer numerischen Simulation in Bezug zu der Struktur des der Anmelderin bekannten Beispiels, das in Fig. 58 gezeigt ist, und der Struktur entsprechend der vorliegenden Ausführungsform, die in Fig. 1 gezeigt ist, im folgenden beschrieben.

Fig. 19 und 20 zeigen Diagramme, die ein Ergebnis einer numerischen Simulation mit Bezug zu einem MOSFET mit der Struktur des der Anmelderin bekannten Beispiels, das in Fig. 58 gezeigt ist, darstellen. Da angenommen wird, daß eine Einrichtung in der Größenordnung von 300 V benutzt wird, beträgt eine Abmessung L<sub>d</sub>, die in Fig. 58 gezeigt ist, 20 µm.

Fig. 19 stellt eine Durchbruchsspannung und einen Ein-Zustands-Widerstand dar, wenn W<sub>n</sub>(=W<sub>p</sub>) 6 µm, 3 µm und 1,5 µm beträgt und eine Dotierungskonzentration von dem n- und dem p-Bereich 301 und 302 und jedem Fall geändert ist. Weiterhin sind die Maximalwerte einer Dotierungskonzentration N<sub>d</sub> des n-Bereiches 301 für jeden W<sub>n</sub>-Wert, die entsprechend der vorher erwähnten Beziehung (4) berechnet sind, und der R<sub>on</sub>, der entsprechend der Beziehung (1) berechnet ist, in der Tabelle 1 gezeigt.

Tabelle 1

W <sub>n</sub> (=W <sub>p</sub> ) (µm)	N <sub>dmax</sub> (cm <sup>-3</sup> )	R <sub>on</sub> (mΩcm <sup>2</sup> )
1,5	1,74x10 <sup>16</sup>	1,1
3,0	8,7x10 <sup>15</sup>	2,2
6,0	4,35x10 <sup>15</sup>	4,4

Wenn das Ergebnis mit dem in Fig. 19 gezeigten Simulationsergebnis verglichen wird, stimmt die Dotierungskonzentration, bei der die Durchbruchsspannung V<sub>br</sub> beginnt sich zu verringern, mit dem theoretischen Wert für ein kleines W<sub>n</sub> gut überein. Es kann jedoch gesehen werden, daß für ein großes W<sub>n</sub> die Durchbruchsspannung der Simulation sich bei niedriger Dotierungskonzentration erniedrigt. Dies ist deshalb, da wenn sich W<sub>n</sub> erhöht und somit L<sub>d</sub> erreicht, sich das elektrische Feld an einem Endabschnitt des pn-Wiederholungsstrukturabschnittes (genauer ein Abschnitt näher an der p-Wanne 303 und ein Abschnitt näher an dem Drain-n<sup>+</sup>-Bereich 304) konzentriert und ein kritisches elektrisches Feld schnell erreicht wird.

Weiterhin ist der Widerstand im Ein-Zustand ungefähr 10%-40% größer, da der Übergang des pn-Wiederholungsstrukturabschnittes rückwärts vorgespannt ist entsprechend der eingebauten Spannung und dem internen Spannungsabfall in der Y-Richtung, sogar in einem Ein-Zustand, und eine Raumladungszone erstreckt sich leicht lateral und somit wird ein Bereich, durch den Strom fließen kann, innerhalb des n-Bereiches 301 reduziert.

Die Menge der Reduzierung kann für eine Kontaktspannung (eingebaute Spannung) von 0,7 V wie folgt bestimmt werden:

$$d_n = 0,21 / \sqrt{(Nd/1 \times 10^{16})} (\mu m) \quad \dots (7)$$

und  $W_n$  wird um  $d_n$  an beiden Seiten reduziert.

Wenn  $N_d = 1 \times 10^{16}$  und  $W_n = 1,5 \mu m$ , beträgt die effektive Breite des n-Bereiches 301  $1,08 \mu m$  und man kann sehen, daß der Widerstand im Ein-Zustand 39% größer ist als der Wert, der durch die Gleichung (1) berechnet ist. Dieser Trend wird signifikanter in einem Design mit schmälere  $W_n$  und  $W_p$  und größeren  $N_d$  und  $N_a$ , wie von der Gleichung (7) gesehen werden kann.

Weiterhin wurde entsprechend einem Ergebnis, das durch die Simulation erhalten wurde, herausgefunden, daß wenn ein Siliziumkristallin zwischen dem n-Bereich 301 und dem p-Bereich 302 des pn-Wiederholungsstrukturabschnittes schichtweise angewendet ist, sich eine Raumladungszone in einem Ein-Zustand weniger ausdehnt und somit der Widerstand im Ein-Zustand leicht verbessert wird.

Fig. 20 zeigt ein Ergebnis einer numerischen Simulation, wie sich die Durchbruchspannung ändert, wenn das Dotierungskonzentrationsverhältnis des n-Bereiches 301 zu dem p-Bereich 302 schwankt. Verglichen mit dem idealen Beispiel, wenn  $N_d = N_a$ , wird die Durchbruchspannung erniedrigt, wenn  $N_a$  entweder zu groß oder zu klein ist. Sowie  $N_d$  erhöht wird und der Widerstand im Ein-Zustand erniedrigt wird, wird der Grad der Reduzierung der Durchbruchspannung erhöht. Für eine Einrichtung in der Größenordnung von 300 V ist die gewünschte Durchbruchspannung ungefähr nicht weniger als 340 V. In diesem Fall ist ersichtlich, daß eine Dotierungskonzentrationsdifferenz von ungefähr  $\pm 11\%$  toleriert werden kann, wenn ein Widerstand im Ein-Zustand von  $2,8 m\Omega cm^2$  gewünscht wird, wogegen nur ungefähr  $\pm 4\%$  toleriert werden kann, wenn ein Widerstand im Ein-Zustand von  $1,4 m\Omega cm^2$  gewünscht wird.

Es wird angemerkt, daß die Einrichtung dieser Struktur eine Unipolareinrichtung ist, bei der in einem Ein-Zustand nur Elektronen zum Leiten beitragen und somit daß Einschaltphänomen von reinem Einschalten und/oder Ausschalten eines MOS-Kanals in einem schnellen Schalten resultiert, wie bei typischen Leistungs-MOSFETs.

Fig. 21 und 22 zeigen ein Ergebnis einer numerischen Simulation in Bezug zu der Struktur entsprechend der vorliegenden Ausführungsform, die in Fig. 1 gezeigt ist. Fig. 21 zeigt, wie sich die Durchbruchspannung und der Widerstand im Ein-Zustand ändern, so wie die Oberflächendotierungskonzentration  $C_{sn}(=C_{sp})$  verändert wird, wobei  $W_n(=W_p=W_d)$   $1 \mu m$  und  $2 \mu m$  beträgt und die Diffusionslänge  $CHRN$   $W_n \times 0,68$  beträgt. Wie in Fig. 21 gezeigt ist, ist in diesem Beispiel ebenfalls ein Trend gezeigt, daß sich so wie sich die Dotierungskonzentration erhöht der Widerstand im Ein-Zustand  $R_{on}$  relativ linear verringert und die Durchbruchspannung  $V_{br}$  sich leicht und dann schnell bei einer Dotierungskonzentration eines gewissen Wertes oder mehr verringert. Es kann auch gesehen werden, daß für diese Struktur der Widerstand im Ein-Zustand ungefähr  $1,9 m\Omega cm^2$  beträgt, wenn eine Durchbruchspannung von 340 V für  $W_n = 1 \mu m$  gewünscht wird.

Da in diesem Beispiel  $W_n = W_p = W_d$ , beträgt ein Raum zwischen den Gräben 7a  $6 \mu m$  für  $W_n = 2 \mu m$ . Wenn der Raum zwischen den Gräben 7a weiter erhöht wird, kann die Durchbruchspannung nicht gehalten werden und somit wird angenommen, daß eine praktische Begrenzung des Raumes zwischen den Gräben 7a nicht mehr als ein Drittel der Tiefe der Gräben 7a beträgt.

Fig. 22 zeigt die Änderung der Durchbruchspannung wenn das  $C_{sp}/C_{sn}$ -Verhältnis in der Struktur entsprechend der vorliegenden Ausführungsform, die in Fig. 1 gezeigt ist, verändert wird. Wie in Fig. 22 gezeigt ist, wurde herausgefunden, daß die Durchbruchspannung den maximalen Wert bei  $C_{sp}/C_{sn} = 1,05$  erreicht. Es wird in diese Simulation angenommen, daß, wie vorher erwähnt wurde, eine p-n-Grabenwiederholungsstruktur innerhalb eines n-Siliziums mit niedriger Konzentration eingebaut ist. Somit enthalten der n-Diffusionsbereich 1 und der p-Diffusionsbereich 2 eine n-Dotierung von  $1,6 \times 10^{14} cm^{-3}$  als Hintergrund und das Silizium in dem Graben 7a enthält die n-Dotierung von  $5,0 \times 10^{13} cm^{-3}$ . Folglich wird  $C_{sp}$  etwas größer als  $C_{sn}$  benötigt.

Weiterhin beträgt bei der Struktur von Fig. 1 der tolerierbare Bereich des  $C_{sp}/C_{sn}$ -Verhältnis, bei dem eine Durchbruchspannung von 340 V für einen Widerstand im Ein-Zustand von  $1,9 m\Omega cm^2$  erwartet wird, ungefähr  $\pm 5\%$ , was insgesamt nicht geringer als das Ergebnis mit Bezug der Struktur des der Anmelderin bekannten Beispiels, das in Fig. 58 gezeigt ist, betrachtet wird.

Weiterhin kann in dem Herstellungsverfahren entsprechend der vorliegenden Ausführungsform ein Verfahren der schrägen Ionenimplantation derart verwendet werden, daß die Dotierungen in die Seitenoberflächen des Grabens 7a implantiert werden, wie in Fig. 8 und 9 gezeigt ist, so daß der n-Diffusionsbereich 1 und der p-Diffusionsbereich 2 gebildet werden. Da die Dotierungen durch die Ionenimplantationstechnik eingebracht werden, kann die Steuerung der Menge der Dotierungen extrem groß wie  $\pm 1\%$  verglichen mit dem epitaktischen Wachstumsverfahren sein. Weiterhin wird, da die Seitenwandoberflächen mit einem Oxidfilm oder ähnlichem maskiert sind, eine außergewöhnliche Dotierungsdiffusion in der X-Richtung nicht verursacht. Dies erlaubt eine leichte Bildung einer feinen Übergangsstruktur mit nicht mehr als  $1 \mu m$  und somit kann eine pn-Struktur 1, 2 mit einem präzisen pn-Dotierungsverhältnis in einer feinen Abmessung gebildet werden.

Somit kann entsprechend der vorliegenden Ausführungsform eine feine pn-Struktur 1, 2 in der Größenordnung von einem Mikrometer mit ausreichender Präzision erhalten werden und somit kann eine Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchspannung erhalten werden, die beides aufweist, überragende Spannung im Einzustand und Durchbruchspannung und schnelle Schalteigenschaften.

Weiterhin wird eine hohe Präzision des pn-Dotierungsverhältnisses nur an den pn-Strukturen verlangt, die relativ nä-

her zueinander angeordnet sind, so daß sie zum Beispiel zueinander an der gleichen Y-Position benachbart sind, und eine Änderung der Präzision zwischen entfernten pn-Strukturen beeinflußt nicht die Durchbruchsspannung und somit ist eine Makroänderung innerhalb einer Scheibenoberfläche nicht so problematisch.

Weiterhin beeinflußt eine Dotierungskonzentrationsvariation zwischen Abschnitten an verschiedenen Y-Positionen nicht die Durchbruchsspannung. Somit sind mehr oder weniger abgeschrägte Winkel, die durch das Grabenätzen an einer Seitenwandoberfläche des Grabens 7a verursacht sind, nicht so problematisch, sogar wenn die Dotierungskonzentration sich in der Richtung der Tiefe mehr oder weniger ändert, solange die Form bilateral symmetrisch ist.

Weiterhin kann bei dieser Struktur der Graben auf einmal gegraben werden und somit kann der Prozeß vereinfacht werden und die Kosten können relativ reduziert werden.

#### Zweite Ausführungsform

Wie in Fig. 23 gezeigt ist, unterscheidet sich eine Struktur entsprechend der zweiten Ausführungsform von der Struktur entsprechend der obigen ersten Ausführungsform darin, daß Dotierungsdiffusionsbereiche 1, 2 des gleichen Leitungstyps an den beiden Seitenwandoberflächen des Grabens 7a vorgesehen sind. Genauer ist der n-Diffusionsbereich 1 an den beiden Seitenwandoberflächen von einem Graben 7a gebildet und der p-Diffusionsbereich 2 ist an den beiden Seitenwandoberflächen eines anderen Grabens 7a gebildet. Der Graben 7a, der mit dem n-Diffusionsbereich 1 an den beiden Seitenwandoberflächen vorgesehen ist, und der Graben 7a, der mit dem p-Diffusionsbereich 2 an den beiden Seitenwandoberflächen vorgesehen ist, sind abwechselnd angeordnet.

Eine solche Struktur ist mit einer Gateelektroden-schicht 9 für jeden Graben 7a verteilt und die Gateelektroden-schicht 9 muß nur in dem Graben 7a, der die an den beiden Seitenwandoberflächen gebildeten n-Diffusionsbereichen aufweist, gebildet werden. Weiterhin ist der p<sup>+</sup>-Dotierungsdiffusionsbereich 6 in dem Graben 7a, der den p-Diffusionsbereich 2 an den beiden Seitenwandoberflächen aufweist, näher an der ersten Hauptoberfläche gebildet.

Der Rest der Struktur ist fast das Gleiche wie bei der Struktur entsprechend der ersten Ausführungsform und somit werden identische Teile durch identische Bezugszeichen bezeichnet und eine Beschreibung davon wird nicht wiederholt.

Fig. 24 stellt eine Neu-dotierungskonzentrationsverteilung an einem Querschnitt entlang der Linie Y-Y' der Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung dar. Wie in Fig. 24 gezeigt ist, weist, wie bei der ersten Ausführungsform, der n-Diffusionsbereich 1 und der p-Diffusionsbereich 2 der vorliegenden Ausführungsform jeweils eine Dotierungskonzentrationsverteilung auf, die von einer Seitenwandoberfläche des Grabens 7a diffundiert ist.

Ein Herstellungsverfahren entsprechend der vorliegenden Ausführungsform wird im folgenden beschrieben.

Wie in Fig. 25 gezeigt ist, wird ein Verfahren ähnlich zu dem, das bei der ersten Ausführungsform beschrieben wurde, derart benutzt, daß eine n-Epitaxiewachstumsschicht 4a und ein p-Dotierungsdiffusionsbereich 3 auf einem Substrat 1 mit hoher Dotierungskonzentration gebildet werden. Ein thermischer Oxidfilm 12a, ein CVD-Siliziumnitridfilm 13a und ein CVD-Siliziumoxidfilm 14a werden nacheinander auf dem p-Dotierungsdiffusionsbereich 3 abgeschieden und dann in eine gewünschte Form durch eine typische Photolithographie- und Ätztechnik bemustert. Die bemusterte Stapelstruktur 12a, 13a und 14a wird als eine Maske derart benutzt, daß eine unterliegende Schicht anisotrop geätzt wird. Somit werden der p-Dotierungsdiffusionsbereich 3 und die n-Epitaxiewachstumsschicht 4a derart durchdrungen, daß ein Graben 7a gebildet wird, der das Substrat 4 mit hoher Dotierungskonzentration erreicht.

Dann wird die Stapelstruktur 12a, 13a, 14a als Maske derart benutzt, daß Bor in die beiden Seitenwandoberflächen des Grabens 7a durch ein schräges Drehionenimplantationsverfahren implantiert wird. Somit wird ein Borimplantationsbereich 2a an den beiden Seitenwandoberflächen des Grabens 7a gebildet. Die schräge Drehionenimplantation wird in Bezug zu einer Normalen zu der Scheibenoberfläche um ungefähr  $\tan^{-1}(1/20) \approx 2,9^\circ$  versetzt durchgeführt, da ein Aspektverhältnis, das das Abmessungsverhältnis von der Tiefe zu der Öffnung des Grabens 7a darstellt, das gleiche ist wie das der ersten Ausführungsform, d. h. ungefähr 20 : 1.

Dann wird ein CVD-Siliziumoxidfilm als ein Isolierfilm derart gebildet, daß der Graben 7a gefüllt wird und der CVD-Siliziumoxidfilm 14a bedeckt wird. Dann wird der CVD-Siliziumoxidfilm zurückgeätzt.

Wie in Fig. 26 gezeigt ist, wird eine Füllschicht 7, die den Graben 7a füllt, durch das Zurückätzen gebildet. Weiterhin wird die obere CVD-Siliziumoxidfilmschicht 14a der Stapelstruktur auch gleichzeitig mit dem Zurückätzen entfernt. Dann werden der CVD-Siliziumoxidfilm 13a und der thermische Oxidfilm 12a nacheinander derart entfernt, daß eine obere Oberfläche des p-Basisbereiches 3 freigelegt wird.

Wie in Fig. 27 gezeigt ist, werden ein thermischer Oxidfilm 12b, ein CVD-Siliziumnitridfilm 13b und ein CVD-Siliziumoxidfilm 14b nacheinander derart abgeschieden, daß die gesamte freigelegte Oberfläche bedeckt wird, und dann werden sie durch typische Photolithographie und Ätztechniken bemustert. Die Stapelstruktur 12b, 13b, 14b wird als Maske derart benutzt, daß die unterliegenden Schichten anisotrop geätzt werden und somit der p-Basisbereich 3 und die n-Epitaxiewachstumsschicht 4 derart durchdrungen werden, daß in dem Graben 7a ein neuer Graben 7a gebildet wird, der das Substrat 4 mit hoher Dotierungskonzentration erreicht.

Dann wird die Stapelstruktur 12b, 13b, 14b noch derart als Maske verwendet, daß Phosphor an beiden Seitenwandoberflächen des neu gebildeten Grabens 7a durch ein schräges Drehionenimplantationsverfahren implantiert wird. Somit wird ein Phosphorimplantationsbereich 1a an beiden Seitenwandoberflächen des neu gebildeten Grabens 7a gebildet.

Wie in Fig. 28 gezeigt ist, wird ein CVD-Siliziumoxidfilm 7a als ein Isolierfilm derart gebildet, daß der neu gebildete Graben 7a gefüllt wird und der CVD-Siliziumoxidfilm 14b bedeckt wird. Eine Wärmebehandlung in diesem Zustand erlaubt die Diffusion der Dotierungen des Borimplantationsbereiches 2a und des Phosphorimplantationsbereiches 1a.

Wie in Fig. 29 gezeigt ist, sind der so gebildete n-Diffusionsbereich 1 und der p-Diffusionsbereich 2, die einen pn-Übergang bilden, in einem Bereich gebildet, der zwischen den Gräben 7a schichtweise angeordnet ist.

Dann werden Schritte ähnlich zu denen der ersten Ausführungsform, die in Fig. 12-17 gezeigt sind, derart durchgeführt, daß die Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung entsprechend der vorliegenden Ausführungsform, die in Fig. 30 gezeigt ist, gebildet wird.

Es wird angemerkt, daß Elemente, die identisch mit denen der ersten Ausführungsform sind, in Fig. 30 mit identischen

Bezugszeichen bezeichnet werden.

Eine Struktur entsprechend der vorliegenden Ausführungsform erlaubt ebenfalls eine feine pn-Struktur 1, 2 von nicht mehr als  $1\ \mu\text{m}$  und somit können eine überragende Spannung im Ein-Zustand und Durchbruchsspannung und ebenfalls schnelle Schalteigenschaften erhalten werden, wie in der ersten Ausführungsform. In der vorliegenden Ausführungsform ist jedoch ein Dotierungsdiffusionsbereich 1, 2 eines Halbleitertyps an beiden Seitenwandoberflächen eines Grabens 7a angeordnet und somit wird die Breite von einem Dotierungsdiffusionsbereich 1, 2 eines Halbleitertyps im wesentlichen verdoppelt. Folglich ist, wenn die Form des Grabens 7a die gleiche ist, wie die in der ersten Ausführungsform, die vorliegende Ausführungsform etwas schlechter im Betrieb als die erste Ausführungsform.

Weiterhin müssen der Graben 7a zum Bilden des n-Diffusionsbereiches 1 und der Graben 7a zum Bilden des p-Diffusionsbereiches 2 jeweils zu unterschiedlichen Zeiten gebildet werden und somit wird der Prozeß komplizierter und die Kosten erhöhen sich. Diese Struktur erlaubt jedoch, daß die beiden Enden der p-n-Grabenwiederholungsstruktur als entweder p-Diffusionsbereich oder n-Diffusionsbereich 1 gebildet werden, und somit wird der Freiheitsgrad beim Entwerfen vorteilhaft erhöht.

#### Dritte Ausführungsform

Die Struktur in Fig. 31 zeigt ein erstes Beispiel, wenn die Struktur gemäß der ersten Ausführungsform an einer Begrenzung einer aktuellen Einrichtung angewendet wird. Es ist ein Widerstandsfeldplattenfilm 32, wie zum Beispiel ein SiNOS-Film (halbisolierender, polykristalliner Siliziumfilm), an dem Endabschnitt in der X-Richtung und dem Endabschnitt der Y-Richtung mit einem Isolierfilm 31 aus Siliziumoxid oder ähnlichem, das dazwischen vorgesehen ist, vorgesehen. Ein Ende des Widerstandsfeldplattenfilmes 32, das näher an dem Source ist, ist elektrisch mit einer Sourceelektrode (nicht gezeigt) verbunden und ein Ende des Widerstandsfeldplattenfilmes 32, das näher an dem Drain ist, ist elektrisch mit einem n<sup>+</sup>-Bereich 4 verbunden.

Der Rest der Struktur ist fast die gleiche wie bei der Struktur gemäß der ersten Ausführungsform und daher sind identische Teile mit identischen Bezugszeichen bezeichnet und die Beschreibung davon wird nicht wiederholt.

Ein p-n-Grabenwiederholungsstrukturabschnitt weist in einem Aus-Zustand, wie oben beschrieben wurde, ein elektrisches Feld auf, das in der Y-Richtung gleichmäßig ist und somit die Form eines Rechteckes aufweist. Genauer zeigt das Potential eine lineare Verteilung. Folglich ist der Widerstandsfeldplattenfilm 32, dessen beide Enden an dem Source und/bzw. Drainpotential fixiert sind, mit einer Äquipotentialoberfläche ohne Widerspruch verbunden und somit wird eine Durchbruchsspannung des p-n-Grabenwiederholungsstrukturabschnittes intakt erhalten.

Weiterhin verhindert eine Funktion der Widerstandsfeldplatte 32 Effekte, die durch Ionen oder ähnliches in einem Versiegelungsharz oder ähnlichem verursacht sind, und somit wird für lange Zeit eine stabile Durchbruchsspannung erhalten. Ebenfalls wird nur eine kleine Fläche aufgrund der Endstruktur benötigt und somit kann die Einrichtung mit niedrigen Kosten hergestellt werden.

#### Vierte Ausführungsform

Die Struktur, die in Fig. 32 gezeigt ist, zeigt ein zweites Beispiel, wenn die Struktur gemäß der ersten Ausführungsform auf einen Umfang bzw. einer äußeren Begrenzung einer aktuellen Einrichtung angewendet wird. Die Struktur wird ebenfalls auf eine typische planare Passivierungsstruktur, bei der eine p-n-Grabenwiederholungsstruktur in einem n-Halbleiterbereich 33 mit niedriger Dotierungskonzentration gebildet ist, angewendet und somit wird ein Ende einer Verarmungsschicht, die in dem n-Halbleiterbereich 33 gebildet ist, dazu gebracht, zu erscheinen, und endet somit an einer Siliziumoberfläche näher an dem Source.

Zum Entspannen eines elektrischen Feldes in der X-Richtung an dem Oberflächenabschnitt näher an dem Source kann die Feldplatte, wie in der Figur gezeigt ist, eine typische Schutzringstruktur, eine RESURF-Struktur, die eine p-Diffusionsschicht mit niedriger Konzentration verwendet, oder ähnliches verwendet werden und somit kann die Struktur mit herkömmlichen verwendeten Passivierungen abgeschlossen werden.

Fig. 33 zeigt ein Ergebnis einer numerischen Simulation der Abhängigkeit der Diffusionslänge (CHR) von der Durchbruchsspannung mit Bezug zu dieser Struktur. In Fig. 33 bezeichnet "peri-1" das Ergebnis mit Bezug zu einer Struktur gemäß der vorliegenden Ausführungsform, die in Fig. 32 gezeigt ist, und als Referenz bezeichnet "cell" die Durchbruchsspannung und einen Ein-Widerstand, die nur für die in Fig. 1 gezeigte Wiederholungsstruktur berechnet sind.

Das Ergebnis zeigt, daß während die Durchbruchsspannung des p-n-Grabenwiederholungsstrukturabschnittes nicht so von der Diffusionslänge CTR abhängt, die Durchbruchsspannung an dem Umfang stark verringert wird, so wie die Diffusionslänge CTR erhöht wird, da die Länge des Überganges, der durch den n- und p-Diffusionsbereich 1 und 2 an einem Ende des Wiederholungsstrukturabschnittes und durch den peripheren n-Halbleiterbereich 33 an einem Kontakt des p-n-Grabenwiederholungsstrukturabschnittes und des peripheren n-Halbleiterbereiches 33 länger ist als der Wiederholungsabschnitt und da die Länge des Überganges weiter für eine längere Diffusionslänge CTR länger gemacht wird, und damit ändert sich das elektrische Feld stark und eine elektrische Feldkonzentration wird verursacht.

Folglich muß, wenn die Struktur der Peripherie, wie in Fig. 32 gezeigt ist, verwendet wird, die Diffusionslänge CTR so entworfen werden, daß sie kürzer ist als  $W_n$  und  $W_p$ .

Fig. 34 zeigt weiterhin ein Ergebnis einer numerischen Simulation eines Effektes des Csp/Csn-Verhältnisses auf die Durchbruchsspannung in einer solchen peripheren Struktur. Wie in Fig. 34 gezeigt ist, ist das Csp/Csn-Verhältnis, bei dem die Durchbruchsspannung das Maximum erreicht, um ungefähr 10% größer als das Simulationsergebnis in Bezug zu einer p-n-Grabenwiederholungsstruktur, die in Fig. 22 gezeigt ist, versetzt. Dies zeigt, daß eine Struktur, die mit einer solchen peripheren Struktur endet, eine erhöhte Menge von einer p-Dotierungsimplantation benötigt.

Es wird angemerkt, daß ein Ergebnis erzielt wird, daß wenn CTR auf eine erhöhte Länge von  $0,91\ \mu\text{m}$  eingestellt ist und das Csp/Csn-Verhältnis auf ungefähr 1,1 eingestellt ist, daß die Durchbruchsspannung leicht erhöht wird, wohingegen eine Durchbruchsspannung von 300 V nicht erzielt werden kann.



Weiterhin kann, wenn ein Strom beim Durchbruch in einen Umfang bzw. eine äußere Begrenzung eines Chips fließt, eine Zerstörung aufgrund einer lokalen Wärmeemission nachteilig verursacht werden. Daher ist es notwendig, die Durchbruchsspannung der äußeren Begrenzung einer p-n-Grabenwiederholungsstruktur so zu entwerfen, daß sie allgemein etwas größer ist als die des Zentrums der p-n-Grabenwiederholungsstruktur. Es wurde von einer numerischen Simulation herausgefunden, daß wenn der Raum zwischen den Gräben 7a in der vorliegenden p-n-Grabenwiederholungsstruktur verringert wird, ein Abfall einer Durchbruchsspannung für größere  $C_{sn}$  und  $C_{sp}$  schwieriger zu verursachen ist. Somit erlaubt ein Muster, bei dem der Raum zwischen den Gräben 7a schmaler ist in einem Abschnitt der p-n-Grabenwiederholungsstruktur, die näher an der äußeren Begrenzung ist als an dem Zentrum der p-n-Grabenwiederholungsstruktur, einen Entwurf, der widerstandsfähiger bezüglich eines Durchbruches ist.

#### Fünfte Ausführungsform

Die in Fig. 35 gezeigte Struktur zeigt ein Beispiel der peripheren Struktur in einer Ebene senkrecht zu dem in Fig. 32 gezeigten Querschnitt (d. h. eine Ebene entlang der Z-Richtung). Der n-Halbleiterbereich 33 mit geringer Dotierungskonzentration und die p-n-Grabenwiederholungsstruktur sind miteinander an einer Position  $Z_j$  verbunden.

Der Rest der Struktur ist fast gleich zu der in Fig. 32 gezeigten Struktur und daher sind identische Teile mit identischen Bezugszeichen bezeichnet und die Beschreibung davon wird nicht wiederholt.

Ein Ergebnis einer dreidimensionalen numerischen Simulation zeigt, daß eine Durchbruchsspannung in dieser Struktur fast gleich zu der ist, die in der p-n-Grabenwiederholungsstruktur, die in Fig. 1 gezeigt ist, erhalten wurde. Somit weist die Struktur gemäß dem Querschnitt nicht das Risiko auf, daß die Durchbruchsspannung in Bezug zu der peripheren Struktur deutlich reduziert ist, und somit weist sie den Vorteil auf, daß eine überragende Durchbruchswiderstandsfähigkeit schnell erzielt werden kann.

#### Sechste Ausführungsform

Die in Fig. 36 gezeigte Struktur zeigt ein Beispiel der Struktur, bei der eine Gateelektrodenschicht in einer Richtung senkrecht zu der Richtung, in der die Gateelektrodenschicht sich in Fig. 1 erstreckt, angeordnet ist. Genauer ist ein Graben 9a zum Füllen der Gateelektrodenschicht 9 so vorgesehen, daß der Graben 9a sich in der Richtung von einem Graben 7a zu einem anderen Graben 7a erstreckt. Der Graben 9a ist so gebildet, daß er einen p-Basisbereich 3 durchdringt und weist somit eine Tiefe auf, daß der n- und p-Diffusionsbereich 1 und 2 erreicht werden. Eine Gateisolierschicht 8 ist derart gebildet, daß eine innere Wandoberfläche des Grabens 9a bedeckt wird, und die Gateelektrodenschicht 9 füllt den Graben 9a und erstreckt sich in der Richtung senkrecht zu dem Graben 7a. Genauer erstreckt sie sich in der Richtung von einem Graben 7a zu einem anderen Graben 7a.

Ein Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 ist an der ersten Hauptoberfläche innerhalb des p-Wannenbereiches 3 so gebildet, daß der Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 eine Seitenwandoberfläche des Grabens 9a berührt bzw. zu ihr hinweist.

Der Rest der Struktur ist fast der gleiche wie bei der Struktur entsprechend der ersten Ausführungsform und daher sind identische Teile mit identischen Bezugszeichen bezeichnet und eine Beschreibung davon wird nicht wiederholt.

Es wird nun ein Herstellungsverfahren der vorliegenden Ausführungsform beschrieben.

Das Herstellungsverfahren der vorliegenden Ausführungsform führt zuerst Schritte durch, die ähnlich zu denen der ersten Ausführungsform, die in Fig. 5-11 gezeigt sind, sind. Dann wird die Isolierschicht 7, die in Fig. 11 gezeigt ist, zurückgeätzt.

Wie in Fig. 37 gezeigt ist, wird so eine Füllschicht 7 derart gebildet, daß der bzw. die Gräben 7a gefüllt werden und eine Seitenwand des p-Basisbereiches 3 bedeckt wird. Der CVD-Siliziumoxidfilm 14 wird während des Zurückätzens gleichzeitig entfernt. Dann werden der thermische Oxidfilm 12 und der CVD-Siliziumnitridfilm 13 ebenfalls nacheinander entfernt. Der Zustand wird in Fig. 38 perspektivisch gezeigt.

Mit Bezug zu Fig. 38 werden der thermische Oxidfilm 12, der CVD-Siliziumnitridfilm 13 und der CVD-Siliziumoxidfilm 14 wieder in einem Stapel auf der ersten Hauptoberfläche gebildet und dann in ein gewünschtes Muster durch eine typische Lithographie- und ein Ätztechnik bemustert. Fig. 39 und 40 zeigen den Zustand in einem Querschnitt entlang den Linien A-A' bzw. B-B' von Fig. 38.

Wie in Fig. 39 und 40 gezeigt ist, wird die Stapelstruktur 12, 13, 14 als Maske derart verwendet, daß die unterliegende Schicht anisotrop geätzt wird. Das Ergebnis des anisotropen Ätzens ist in Fig. 41 perspektivisch gezeigt. Ebenfalls sind Querschnittsansichten entlang den Linien A-A' und B-B', die in Fig. 41 gezeigt sind, in Fig. 42 bzw. 43 gezeigt. Fig. 41 zeigt nicht die Stapelstruktur 12, 13, 14, die als Maske dient, wenn das Ätzen durchgeführt wird.

Wie in Fig. 41-43 gezeigt ist, erlaubt das obige anisotrope Ätzen das Bilden des Grabens 9a, der zumindest den p-Basisbereich 3 durchdringt und den n- und p-Diffusionsbereich 1 und 2 erreicht. Bei dem Bilden unterscheidet sich die Tiefe des in Fig. 42 gezeigten Grabens 9a von der des Grabens 9a, der in Fig. 43 gezeigt ist, da der Graben 9a, der in Fig. 42 gezeigt ist, in Silizium gebildet ist, wohingegen der Graben 9a, der in Fig. 43 gezeigt ist, innerhalb eines Siliziumoxidfilmes gebildet ist, und daher unterscheidet sich die Ätzrate von Silizium von der von dem Siliziumoxidfilm bei diesem Ätzen. Dann werden Schritte, die ähnlich zu denen sind, die in Fig. 13-17 gezeigt sind, durchgeführt und dann wird das Resistmuster 21a, das in Fig. 17 gezeigt ist, derart entfernt, daß die in Fig. 44 und 45 gezeigten Bedingungen erreicht werden.

Wie in Fig. 44 und 45 gezeigt ist, wird dann der Abdeckoxidfilm 15 selektiv nur auf der Gateelektrodenschicht 9 durch eine typische Lithographie- und Ätztechnik zurückgelassen.

Wie in Fig. 46 und 47 gezeigt ist, werden so die Oberflächen des p-Basisbereiches 3, des Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereiches 5 und des p<sup>+</sup>-Diffusionsbereiches 6 an dem Abdeckoxidfilm 15 freigelegt. Die Sourceelektrode 10 wird in Kontakt mit den freigelegten Oberflächen gebildet.

Für die Anordnung der in Fig. 1 gezeigten Gateelektrodenschicht verursachen feinere  $W_n$ ,  $W_p$  und  $W_d$  Dimensionsbeschränkungen, wie zum Beispiel die Breite des Gategrabens und die Breite des Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereiches 5. Wenn



sich die Gateelektroden-schicht 9 in der Richtung senkrecht zu dem Graben 7a erstreckt, wie es in der Struktur entsprechend der vorliegenden Ausführungsform, die in Fig. 36 gezeigt ist, ist, werden die Dimensionsbeschränkungen des Gategrabens 9a eliminiert und ein Entwurf mit einem höheren Freiheitsgrad kann erreicht werden.

Ebenfalls erhöhen feinere  $W_n$ ,  $W_p$  und  $W_d$  für die Anordnung der Gateelektroden-schicht, die in Fig. 1 gezeigt ist, die Dichte der Gateelektroden-schicht 9 und folglich steigt die Eingabekapazität und verringert sich die Schaltgeschwindigkeit. Wenn die Gateelektroden-schicht 9 so angeordnet ist, wie in der Struktur entsprechend der vorliegenden Ausführungsform, die in Fig. 36 gezeigt ist, kann der Zwischenraum zwischen den Gategräben 9a breiter sein als eine Abmessung, wie zum Beispiel  $W_n$ , und somit kann die Schwierigkeit, daß die Schaltgeschwindigkeit reduziert wird, verhindert werden.

#### Siebte Ausführungsform

Die in Fig. 48 gezeigte Struktur weist den oben erwähnten Gategraben 9a entsprechend der sechsten Ausführungsform auf, der nur in dem n-Diffusionsbereich 1 vorgesehen ist.

Der Rest der Struktur ist fast der gleiche wie bei der Struktur gemäß der sechsten Ausführungsform und daher sind identische Teile mit identischen Bezugszeichen bezeichnet und die Beschreibung davon wird nicht wiederholt.

Ein Herstellungsverfahren der vorliegenden Ausführungsform wird im folgenden beschrieben.

Bei dem Herstellungsverfahren der vorliegenden Ausführungsform werden Schritte ähnlich zu denen entsprechend der sechsten Ausführungsform bis zu dem Schritt, der in Fig. 38 gezeigt ist, durchgeführt. Dann werden der thermische Oxidfilm 12, der CVD-Siliziumnitridfilm 13 und der CVD-Siliziumoxidentfilm 14 nacheinander auf der ersten Hauptoberfläche, die in Fig. 38 gezeigt ist, abgeschieden und werden dann durch eine typische Lithographie- und eine typische Ätztechnik bemustert. Die Stapelstruktur 12, 13, 14 wird als eine Maske derart verwendet, daß die unterliegende Schicht anisotrop geätzt wird. Die Bedingung ist in Fig. 49-51 gezeigt.

Fig. 50 und 51 sind schematische Querschnittsansichten entlang der Linie A-A' bzw. B-B', die in Fig. 49 gezeigt sind. Fig. 49 zeigt nicht die Dreischichtstapelstruktur 12, 13, 14.

Wie in Fig. 49-51 gezeigt ist, erlaubt das oben erwähnte anisotrope Ätzen das Bilden des Grabens 9a, der die p-Wanne 3 nur in dem n-Diffusionsbereich 1 durchdringt. Dann werden Schritte, die fast gleich zu denen entsprechend der ersten Ausführungsform, die in Fig. 13-18 gezeigt sind, derart durchgeführt, daß die Bedingungen, die in Fig. 52-53 gezeigt sind, erhalten werden.

Wie in Fig. 52 und 53 gezeigt ist, ist eine Gateisolierschicht 8 auf einer internen Wandoberfläche des Grabens 9a gebildet und ist die Gateelektroden-schicht 9 derart gebildet, daß der Graben 9a gefüllt ist. Der Abdeckoxidfilm 15 ist derart gebildet, daß er ein oberes Ende der Gateelektroden-schicht 9 bedeckt. Weiterhin ist der Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 entlang einer Seitenwand des Grabens 9a so gebildet, daß der p-Basisbereich 3 zwischen einem ein Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 und dem n-Diffusionsbereich 1 begrenzt ist bzw. schichtweise angeordnet ist und die Sourceelektrode 10 ist in Kontakt mit dem p-Basisbereich 3 und dem Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 gebildet.

Entsprechend der vorliegenden Erfindung ist der Gategraben 9a nur in dem n-Diffusionsbereich 1 vorgesehen und somit kann die Gatekapazität auf ungefähr ein Drittel von der Struktur gemäß der sechsten Ausführungsform reduziert werden.

Fig. 54 zeigt ein Ergebnis einer dreidimensionalen numerischen Simulation einer Abhängigkeit des Gategrabenabstandes (praktisch eine Hälfte davon, d. h. eine Breite  $W_x$  in der X-Richtung) von dem Ein-Widerstand in diese Struktur. Wie in Fig. 54 gezeigt ist, bezeichnet "3d-sim" ein Berechnungsergebnis für die Struktur gemäß der vorliegenden Ausführungsform, die in Fig. 48 gezeigt ist, und bezeichnet "2d-sim" ein Berechnungsergebnis für die Struktur gemäß der ersten Ausführungsform, die in Fig. 1 gezeigt ist. Die Ergebnisse zeigen, daß der erzielte Ein-Widerstand fast der gleiche ist wie der für die Gateelektrodenanordnung, die in Fig. 1 gezeigt ist, wenn  $W_x=2\text{ }\mu\text{m}$ , wohingegen der Ein-Widerstand fast doppelt so groß ist wie für die Gateelektrodenanordnung, die in Fig. 1 gezeigt ist, wenn  $W_x=10\text{ }\mu\text{m}$ .

In diesem Fall beträgt die Gatedichte der Struktur gemäß der vorliegenden Ausführungsform (Fig. 48) ein Fünftel von der Struktur entsprechend der ersten Ausführungsform (Fig. 1). Folglich ist die Eingabekapazität auf ein Fünftel reduziert und somit ist ein breiterer Gateabstand vorteilhaft, wenn die Betriebseigenschaft durch das Produkt von Ein-Widerstand und Eingabekapazität bestimmt wird.

#### Achte Ausführungsform

Die in Fig. 55 gezeigte Struktur weist ein planares Gate anstatt eines Grabengates entsprechend der sechsten Ausführungsform auf. Genauer erstreckt sich die Gateelektroden-schicht 9 auf der ersten Hauptoberfläche in einer Richtung senkrecht zu dem Graben 7a mit einer dazwischen vorgesehenen Gateisolierschicht 8. Weiterhin ist die Gateelektroden-schicht 9 gegenüber der p-Wanne 3, die an der ersten Hauptoberfläche vorgesehen ist und die zwischen dem n-Diffusionsbereich 1 und dem Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 schichtweise angeordnet ist, mit einer Gateisolierschicht 8, die zwischen der Gateelektroden-schicht 9 und der p-Wanne 3 angeordnet ist, angeordnet.

Der Rest der Struktur ist fast der gleiche wie bei der Struktur gemäß der sechsten Ausführungsform und daher sind identische Teile mit identischen Bezugszeichen bezeichnet und eine Beschreibung davon wird nicht wiederholt.

Die Gateelektroden-schicht 9 gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist in einer Richtung senkrecht zu dem Graben 7a angeordnet und somit können breitere Gateintervalle, die für eine planare Gatestruktur notwendig sind, erhalten werden. Weiterhin ist, obwohl das Gateintervall erhöht wird und somit der Ein-Widerstand leicht erhöht wird in der Struktur entsprechend der vorliegenden Ausführungsform verglichen mit den Längsrichtungen des Gategrabentyps, der Prozeß zum Bilden einer Gatestruktur vereinfacht und daher kann eine Herstellung mit niedrigen Kosten erzielt werden.

## Neunte Ausführungsform

Die in Fig. 56 gezeigte Struktur weist eher eine n-Grabenwiederholungsstruktur als die p-n-Grabenwiederholungsstruktur auf, die oben beschrieben wurde. Genauer sind ein n-Bereich 1 mit einer relativ hohen Dotierungskonzentration und ein Graben 7a abwechselnd angeordnet.

Der Graben 7a weist einen unteren Abschnitt in der Figur, der mit einem Isolator 7a gefüllt ist, der eine festgelegte negative Ladung aufweist, und einen oberen Abschnitt, der mit einer Schicht 7d aus p-Silizium, Siliziumoxid oder ähnlichem gefüllt ist, auf. Die Menge der fixierten Ladung für den Isolator 7b ist so eingestellt, daß sie gleich zu der Menge der Nettodonatorenionen für den n-Diffusionsbereich 1 ist. Genauer weist der Isolator 7c die Menge von fixierten Ladungen von der entgegengesetzten Polarität auf, die gleich ist zu der Menge der Ladung, wenn die Dotierung in dem n-Bereich 1 verarmt ist.

Weiterhin ist ein p-Wanne 3 in dem n-Diffusionsbereich 1 näher an der ersten Hauptoberfläche gebildet und eine erste Hauptoberfläche weist einen Graben 9a auf, der so gebildet ist, daß er die p-Wanne 3 durchdringt und den n-Diffusionsbereich 1 erreicht. Weiterhin ist ein Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 an der ersten Hauptoberfläche, die die Seitenwandoberfläche des Grabens 9a berührt bzw. zu ihr hinweist, derart gebildet, daß ein Abschnitt der p-Wanne 3 zwischen dem Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 und dem n-Diffusionsbereich 1 schichtweise angeordnet ist. Die Gateelektrodenschicht 9, die den Graben 9a füllt, ist gegenüber der p-Wanne 3, die zwischen dem n-Diffusionsbereich 1 und dem Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 schichtweise angeordnet ist, mit der dazwischen vorgesehenen Gateisolierschicht 8 gebildet.

Die Sourceelektrode 10 ist auf einer ersten Hauptoberfläche derart gebildet, daß die Sourceelektrode 10 mit der p-Wanne 3 und dem Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 verbunden ist. Weiterhin ist die Drainelektrode 11 auf einer zweiten Hauptoberfläche derart gebildet, daß die Drainelektrode 11 in Kontakt mit dem Drain-n<sup>+</sup>-Bereich 4 ist, der an der n-Grabenwiederholungsstruktur näher an der zweiten Hauptoberfläche gebildet ist.

Es wurde für diese Struktur durch eine numerische Simulation herausgefunden, daß sogar mit einer solchen Struktur eine hohe Durchbruchsspannung unter Verwendung des n-Diffusionsbereich 1 mit hoher Dotierungskonzentration erzielt werden kann. Eine Einstellung der Ladungsmenge innerhalb des Grabens 7a kann jedoch nicht zu einer elektrischen Feldverteilung in der Form eines Rechteckes in der Y-Richtung führen und somit ist die Durchbruchsspannung etwas geringer als die der Struktur, die zum Beispiel in Fig. 1 gezeigt ist. Die Dotierungskonzentration in dem n-Diffusionsbereich kann jedoch so groß wie die, die in Fig. 1 gezeigt ist, eingestellt werden und somit kann der Ein-Widerstand deutlich reduziert werden.

Mit dieser Struktur kann durch Auswählen des Materials für einen Isolator zum Füllen des Grabens 7a die gesamte Einrichtung mit geladenen Teilchen, wie zum Beispiel einem Elektronenstrahl, derart bestrahlt werden, daß die Menge der fixierten Ladungen innerhalb des Isolators 7c eingestellt wird. Dies erlaubt vorteilhaft ein Herstellungsverfahren, das die Durchbruchsspannung in einem Niedrigtemperaturprozeß nach dem Siliziumprozeß optimiert. Weiterhin muß der Schritt des Grabens eines Grabens zum Bilden des Grabens 7c nur einmal durchgeführt werden und eine sehr präzise Schrägionenimplantationseinrichtung wird nicht benötigt und somit können die Herstellungskosten reduziert werden.

## Zehnte Ausführungsform

Die in Fig. 57 gezeigte Struktur ist eine Anwendung der p-n-Grabenwiederholungsstruktur entsprechend der vorliegenden Ausführungsform, wenn ein Leistungs-MOSFET des lateralen Typs auf einem SOI-Substrat (Halbleiter-auf-Isolator-Substrat) montiert ist. Genauer ist eine Halbleiterschicht 60 auf einem Siliziumsubstrat 51 mit einer dazwischen vorgesehenen Isolierschicht 52 aus einem Siliziumoxidfilm oder ähnlichem gebildet. In der Halbleiterschicht 60 ist ein Leistungs-MOSFET des lateralen Typs gebildet, auf den die p-n-Grabenwiederholungsstruktur gemäß den beschriebenen Ausführungsformen angewendet wird.

Eine Mehrzahl von Gräben 7a, die die Halbleiterschicht 60 durchdringen und die Isolierschicht 52 erreichen, sind mit einem Abstand voneinander angeordnet. An einer ersten Hauptoberfläche sind ein n- und ein p-Diffusionsbereich 1 und 2, die die Isolierschicht 52 erreichen, gebildet, die zwischen den Gräben 7a schichtweise angeordnet sind. Eine solche Struktur wird derart wiederholt, daß eine p-n-Grabenwiederholungsstruktur gebildet wird.

Der p-Bereich 3, der zusammen mit dem n-Diffusionsbereich 1 einen pn-Übergang bildet und der elektrisch mit dem p-Diffusionsbereich 2 verbunden ist, ist an einer ersten Hauptoberfläche gebildet. Der Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 ist derart gebildet, daß der Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 und der n-Diffusionsbereich 1 einen Abschnitt des p-Bereiches 3 begrenzen. Weiterhin ist eine Gateelektrodenschicht 9 gegenüber dem p-Bereich 3, der zwischen dem n-Diffusionsbereich 1 und dem Source-n<sup>+</sup>-Diffusionsbereich 5 begrenzt ist bzw. schichtweise angeordnet ist, mit einer dazwischen vorgesehenen Gateisolierschicht gebildet. Die Gateelektrodenschicht 9 erstreckt sich auf einer ersten Hauptoberfläche in eine Richtung von einem Graben 7a zu einem anderen Graben 7a.

Zum Erhöhen der Durchbruchsspannung in einer solchen lateralen Einrichtung des SOI-Typs wird nur ein großer Abstand zwischen dem Source/Drain benötigt. Die Tiefe des Grabens 7a ist davon unabhängig und muß nur so groß sein wie die Länge der aktiven Siliziumschicht (typischerweise ungefähr einige µm) und somit kann die Tiefe des Grabens 7a reduziert werden und der Ein-Widerstand kann vorteilhaft mit einer feineren Herstellung reduziert werden.

Weiterhin wird für laterale Einrichtungen des SOI-Typs normalerweise die Grabentrennung zum Trennen der Einrichtungen verwendet und somit kann, wenn der Graben 7a gleichzeitig gebildet wird, die Einrichtung ohne eine signifikante Änderung in dem Prozeß hergestellt werden. Obwohl in diesem Beispiel jedoch ein Füllstoff für den Graben 7a ein Isolator ist, der der gleiche ist wie ein Füllstoff für einen Graben zum Einrichtungstrennen, wie zum Beispiel Siliziumoxid, kann charakteristischerweise ein äquivalenter Füllstoff verwendet werden.

Während die obige erste bis zehnte Ausführungsform mit Bezug zu einem n-Kanal-MOSFET unter Verwendung eines n-Substrates beschrieben wurde, können die Ausführungsformen ähnlich auf einen p-Kanal-MOSFET des entgegengesetzten Leitungstyps, auf einen SI-Transistor (statischer Induktionstransistor) oder ähnlichem angewendet werden.

Obwohl das Ionenimplantationsverfahren als ein Verfahren des Einbringens einer Dotierung in eine Seitenwand eines

Grabens beschrieben wurde, kann jedes andere Verfahren als dieses Verfahren benutzt werden, daß eine Dotierungskonzentrationssteuerbarkeit mit hoher Präzision aufweist, das die endgültige Betriebseigenschaft der Halbleitereinrichtung nicht beeinflußt.

Weiterhin muß die Füllschicht 7, die in der ersten bis zehnten Ausführungsform beschrieben wurde, nur zumindest aus einem Film gebildet sein, der von der Gruppe ausgewählt ist, die aus Filmen besteht, die eine sehr geringe Konzentration einer Dotierung aufweisen und somit als eine dielektrische Substanz (ein Isolator) im wesentlichen betrachtet werden, wie zum Beispiel ein Siliziumoxidfilm, ein Siliziumnitridfilm, ein nichtdotierter polykristalliner Siliziumfilm, ein nichtdotierter, nicht-kristalliner Siliziumfilm, ein nicht-dotierter, feinkristalliner Siliziumfilm, ein organischer Siliziumfilm, ein organisches Polymer.

#### Patentansprüche

1. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung, mit einem Halbleitersubstrat, das eine erste Hauptoberfläche und eine dazu entgegengesetzte zweite Hauptoberfläche aufweist und das ebenfalls eine Mehrzahl von Gräben (7a), die an der ersten Hauptoberfläche vorgesehen sind, aufweist, einem innerhalb eines Bereiches des Halbleitersubstrates, der zwischen einem Graben (7a) und einem anderen Graben (7a) der Mehrzahl von Gräben (7a) schichtweise angeordnet ist, und an einer Seitenwandoberfläche des einen Grabens (7a) gebildeten ersten Dotierungsbereich (1) eines ersten Leitungstyps, einem in dem Bereich, der zwischen dem einen Graben (7a) und dem anderen Graben (7a) schichtweise angeordnet ist, und an einer Seitenwandoberfläche des anderen Grabens (7a) gebildeten zweiten Dotierungsbereich (2) eines zweiten Leitungstyps, wobei der zweite Dotierungsbereich (2) zusammen mit dem ersten Dotierungsbereich (1) einen pn-Übergang bildet, einem näher an der ersten Hauptoberfläche als der erste und zweite Dotierungsbereich (1, 2) gebildeten dritten Dotierungsbereich (3) des zweiten Leitungstyps, einem zumindest an der ersten Hauptoberfläche oder einer Seitenwandoberfläche des einen Grabens (7a) derart gebildeten vierten Dotierungsbereich (5) des ersten Leitungstyps, daß der vierte Dotierungsbereich (5) gegenüber dem ersten Dotierungsbereich (1) mit dem dazwischen vorgesehenen dritten Dotierungsbereich (3) angeordnet ist, und einer Gateelektrodenschicht (9) gegenüber dem dritten Dotierungsbereich (3), der zwischen dem ersten und vierten Dotierungsbereich (1, 5) schichtweise angeordnet ist, mit einer dazwischen vorgesehenen Gateisolierschicht (8), bei der der erste Dotierungsbereich (1) eine Konzentrationsverteilung einer Dotierung, die von einer Seitenwandoberfläche des einen Grabens (7a) diffundiert ist, aufweist und der zweite Dotierungsbereich (2) eine Konzentrationsverteilung einer Dotierung, die von einer Seitenwandoberfläche des anderen Grabens (7a) diffundiert ist, aufweist.
2. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 1, bei der eine Sourceelektrode (10) auf der ersten Hauptoberfläche derart gebildet ist, daß sie elektrisch mit dem dritten und vierten Dotierungsbereich (3, 5) verbunden ist, und bei der eine Drainelektrode (11) auf der zweiten Hauptoberfläche derart gebildet ist, daß sie elektrisch mit dem ersten Dotierungsbereich (1) verbunden ist.
3. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 1, bei der eine Sourceelektrode auf der ersten Hauptoberfläche derart gebildet ist, daß sie elektrisch mit dem dritten und vierten Dotierungsbereich (3, 5) verbunden ist, und bei der eine Drainelektrode auf der ersten Hauptoberfläche derart gebildet ist, daß sie elektrisch mit dem ersten Dotierungsbereich (1) verbunden ist.
4. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der ein Zwischenraum zwischen benachbarten Gräben (7a) höchstens ein Drittel einer Tiefe des Grabens (7a) beträgt.
5. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der der erste Dotierungsbereich (1) an einer von gegenüberliegenden Seitenwandoberflächen des einen Grabens (7a) gebildet ist und ein Dotierungsbereich mit einem Leitungstyp, der verschieden von dem des ersten Dotierungsbereiches (1) ist, an der anderen der gegenüberliegenden Seitenwandoberflächen des einen Grabens (7a) gebildet ist.
6. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der der erste Dotierungsbereich (1) an einer von gegenüberliegenden Seitenwandoberflächen des einen Grabens (7a) gebildet ist und ein Dotierungsbereich mit dem gleichen Leitungstyp, wie der des ersten Dotierungsbereiches (1), an der anderen der gegenüberliegenden Seitenwandoberflächen des einen Grabens (7a) gebildet ist.
7. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der ein Inneres des Grabens (7a) mit einer Siliziumschicht (7), die eine Dotierungskonzentration von höchstens 10% einer Dotierungskonzentration in dem ersten Dotierungsbereich (1) an einer Seitenwandoberfläche des einen Grabens (7a) aufweist, gefüllt ist.
8. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 2, bei der ein fünfter Dotierungsbereich (4) des ersten Leitungstyps näher an der zweiten Hauptoberfläche als der erste und der zweite Dotierungsbereich (1, 2) gebildet ist, wobei der fünfte Dotierungsbereich (4) eine höhere Dotierungskonzentration als der erste Dotierungsbereich (1) aufweist, die Drainelektrode (11) elektrisch mit dem ersten Dotierungsbereich (1) mit dem dazwischen vorgesehenen fünften Dotierungsbereich (4) verbunden ist, und die Siliziumschicht (7), die das Innere des Grabens (7a) füllt, von dem ersten und dem zweiten Dotierungsbereich (1, 2) mit einem Abstand durch eine Isolierschicht angeordnet ist und ebenfalls in Kontakt mit dem fünften Dotierungsbereich (4) ist.
9. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei der ein Inneres des

Grabens (7a) mit einer Isolierschicht (7) gefüllt ist.

10. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei der sich die Gateelektrodenschicht (9) entlang einer Richtung erstreckt, in der sich der eine und andere Graben (7a) erstrecken.

11. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei der sich die Gateelektrodenschicht (9) entlang einer Richtung erstreckt, in der die Gateelektrodenschicht (9) den einen und den anderen Graben (7a) schneidet.

12. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 11, bei der die Gateelektrodenschicht (9) eine Grabengatestruktur aufweist, an der ersten Hauptoberfläche gebildet ist und nur auf dem ersten Dotierungsbereich (1) angeordnet ist.

13. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 11, bei der die Gateelektrodenschicht (9) eine planare Gatestruktur aufweist und auf der ersten Hauptoberfläche gebildet ist.

14. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 2, die eine Wiederholungsstruktur aufweist, bei der eine pn-Struktur des ersten und des zweiten Dotierungsbereiches (1, 2) und des Grabens (7a) wiederholt sind, wobei die pn-Struktur und der Graben (7a) zueinander benachbart sind, bei der eine äußere Begrenzung der Wiederholungsstruktur mit einem Widerstandsfilm (32) mit einer dazwischen vorgesehenen Trennisolierschicht (31) bedeckt ist,

wobei der Endabschnitt des Widerstandsfilmes (32), der näher an der ersten Hauptoberfläche ist, elektrisch mit der Sourceelektrode (19) verbunden ist, und der Endabschnitt des Widerstandsfilmes (32), der näher an der zweiten Hauptoberfläche ist, elektrisch mit einer Drainelektrode (11) verbunden ist.

15. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 2, die eine Wiederholungsstruktur aufweist, bei der eine pn-Struktur des ersten und zweiten Dotierungsbereiches (1, 2) und der Graben (7a) wiederholt sind, wobei die pn-Struktur und der Graben (7a) zueinander benachbart sind, bei der eine äußere Begrenzung der Wiederholungsstruktur mit einem Halbleiterbereich (33) des ersten Leitungstyps verbunden ist und eine Spitze einer Verarmungsschicht, die sich von der Wiederholungsstruktur erstreckt, wenn eine Spannung an die Drainelektrode (11) angelegt ist, innerhalb des Halbleiterbereiches (33) endet.

16. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 15, bei der eine Diffusionslänge einer Dotierung des ersten Dotierungsbereiches (1) von einer Seitenwandoberfläche des einen Grabens (7) kürzer ist als eine Breite des ersten Dotierungsbereiches (1) zwischen der Seitenwandoberfläche des einen Grabens (7a) und einem pn-Übergang des ersten und zweiten Dotierungsbereiches (1, 2) und eine Diffusionslänge einer Dotierung des zweiten Dotierungsbereiches (2) von einer Seitenwandoberfläche des anderen Grabens (7a) kürzer ist als eine Breite des zweiten Dotierungsbereiches (2) zwischen der Seitenwandoberfläche des anderen Grabens (7a) und dem pn-Übergang des ersten und zweiten Dotierungsbereiches (1, 2).

17. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 15 oder 16, die eine Wiederholungsstruktur aufweist, bei der eine pn-Struktur des ersten und des zweiten Dotierungsbereiches (1, 2) und der Graben (7a) wiederholt sind, wobei die pn-Struktur und der Graben (7a) zueinander benachbart sind, bei der ein Zwischenraum zwischen den Graben an einer äußeren Begrenzung schmaler ist als im Zentrum der Wiederholungsstruktur an der ersten Hauptoberfläche.

18. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach einem der Ansprüche 15 bis 18, bei der eine Füllschicht (7), die Silizium als ein Material enthält, ein Inneres des Grabens (7a) füllt und eine Dotierungskonzentration der Füllschicht (7) geringer ist als die des Halbleiterbereiches (33).

19. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 15, bei der eine gesamte Dotierungsmenge, die entgegengesetzt im Leitungstyp zu dem Halbleiterbereich (33) ist, größer ist, wenn eine gesamte Dotierungsmenge eines ersten Leitungstyps, die in dem ersten und dem zweiten Dotierungsbereich (1, 2) eingebracht ist, mit der einer Dotierung des zweiten Leitungstyps, die in dem ersten und dem zweiten Dotierungsbereich (1, 2) eingebracht ist, verglichen wird.

20. Halbleitereinrichtung mit hoher Durchbruchsspannung nach Anspruch 3, bei der das Halbleitersubstrat ein SOI-Substrat ist, das ein Substrat (5), das näher an der zweiten Hauptoberfläche angeordnet ist, und das eine Halbleiterschicht (60), die näher an der ersten Hauptoberfläche angeordnet ist, und von dem Substrat (5) isoliert ist, aufweist und

bei der der erste, zweite, dritte und vierte Dotierungsbereich (1, 2, 3, 5) in der Halbleiterschicht (60) gebildet sind.

Hierzu 46 Seite(n) Zeichnungen

FIG.1

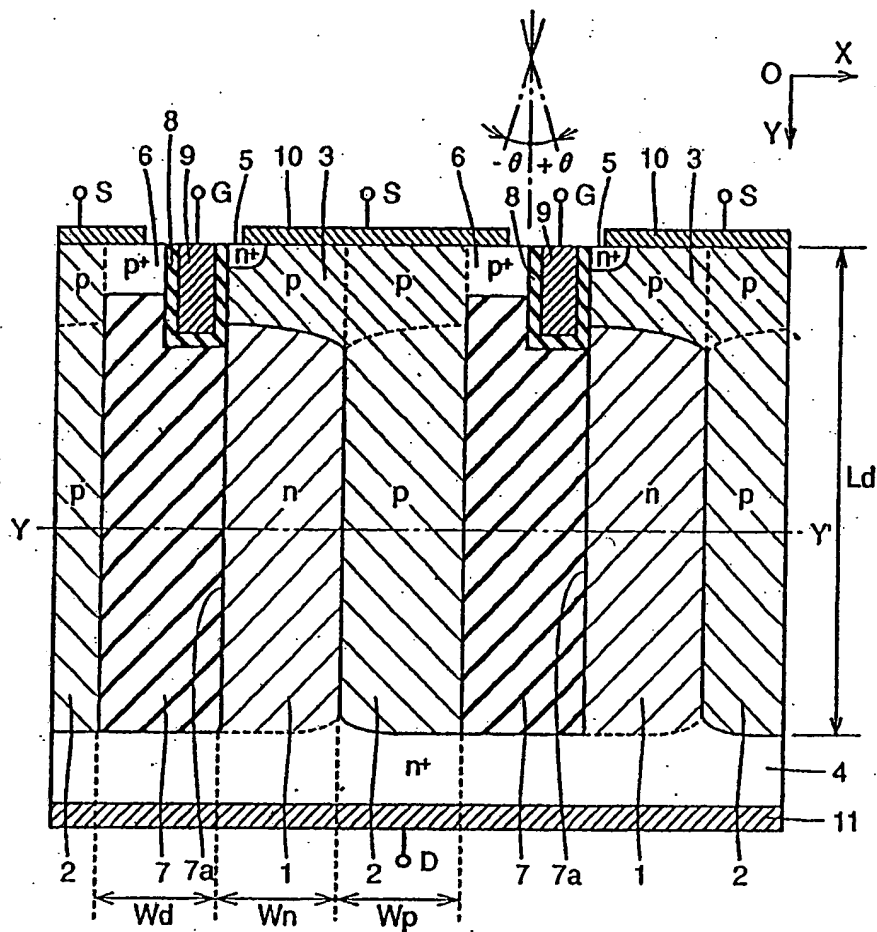


FIG.2

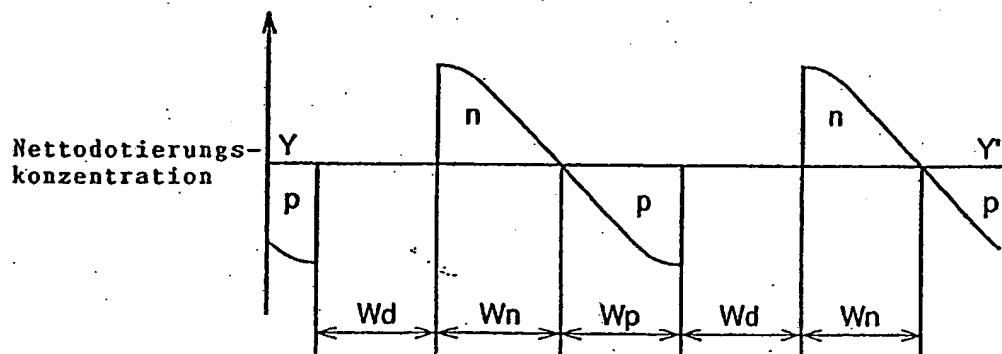


FIG.3

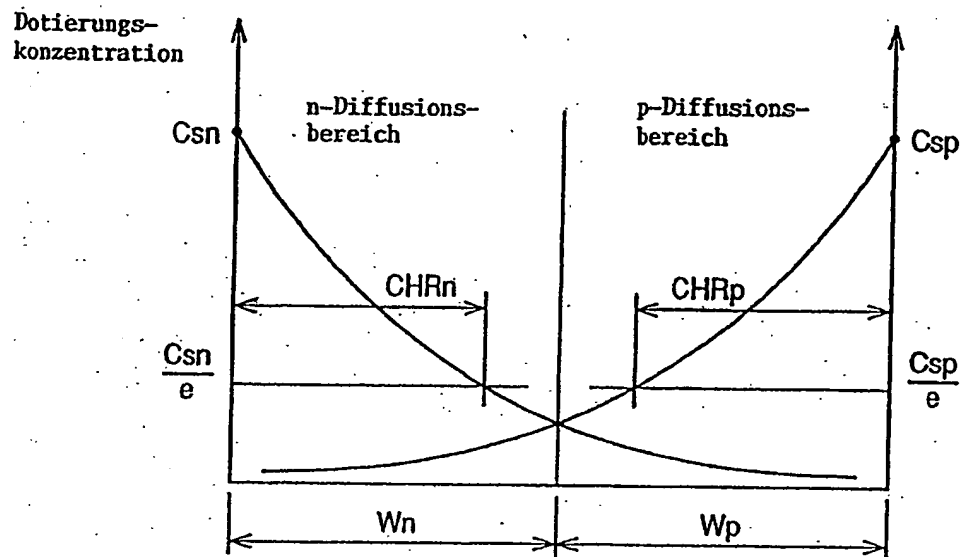


FIG.4

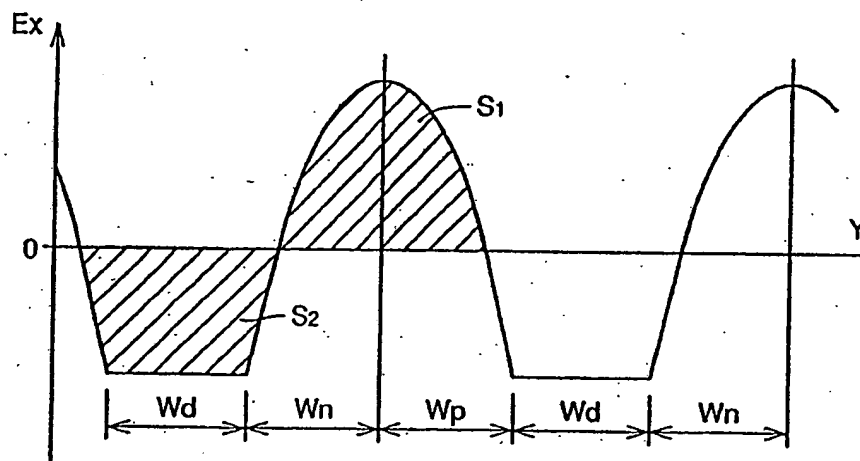


FIG.5

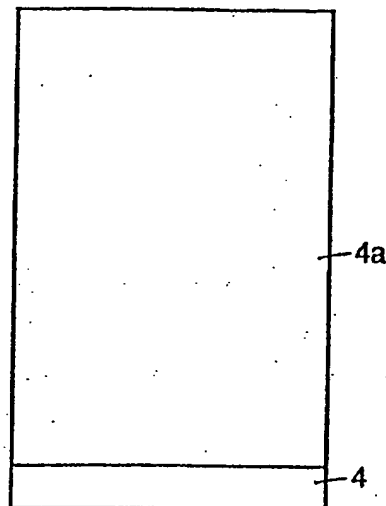


FIG.6

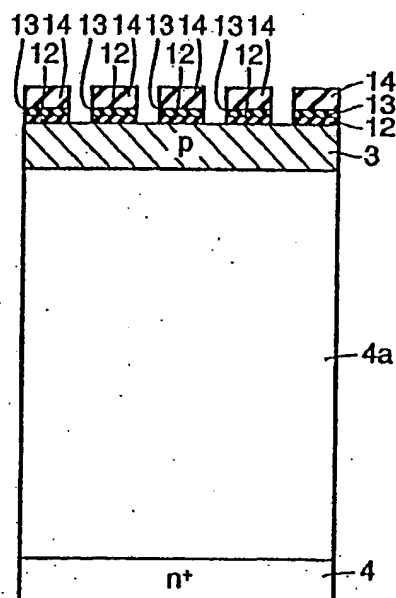


FIG. 7

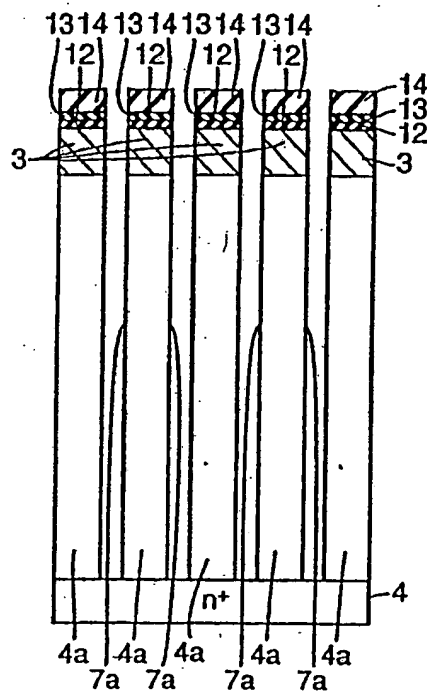




FIG. 8

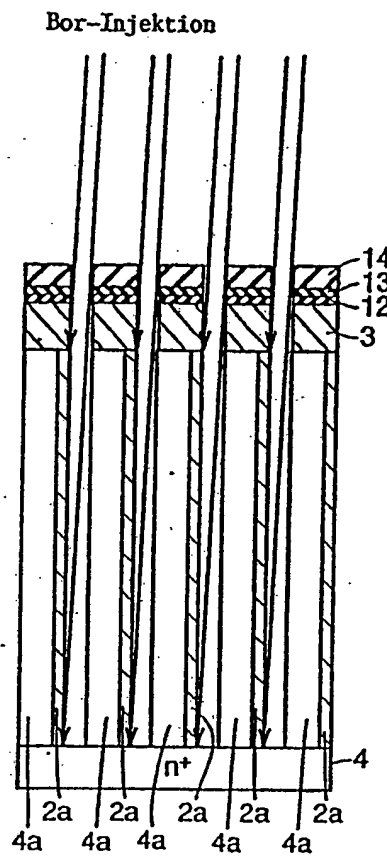


FIG. 9

Phosphor-Injektion

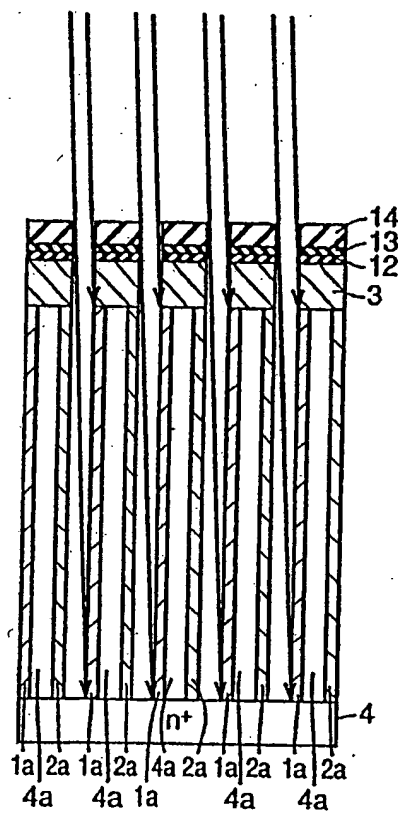


FIG. 10

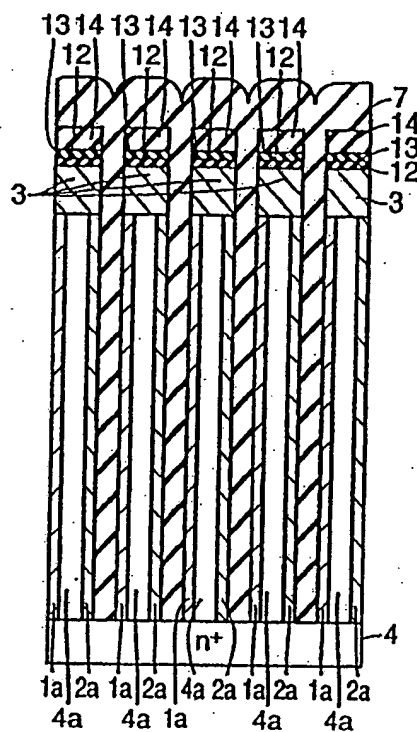


FIG. 11

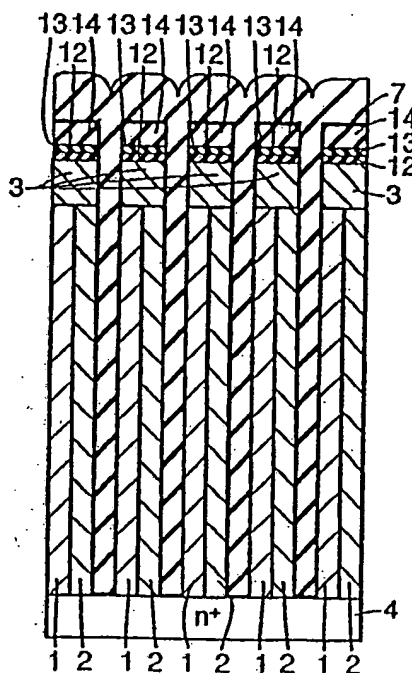


FIG. 12

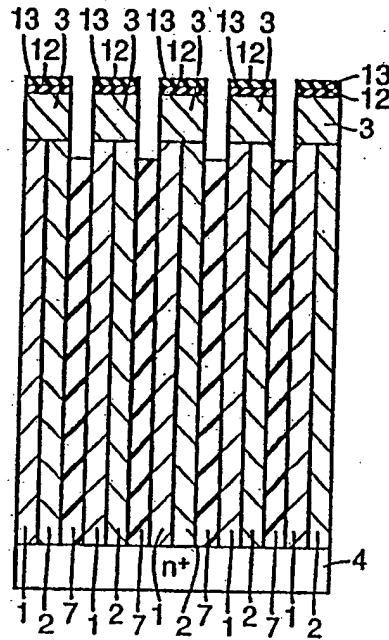


FIG. 13

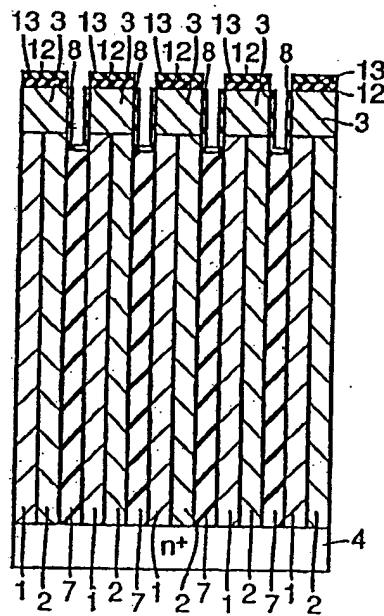


FIG. 14

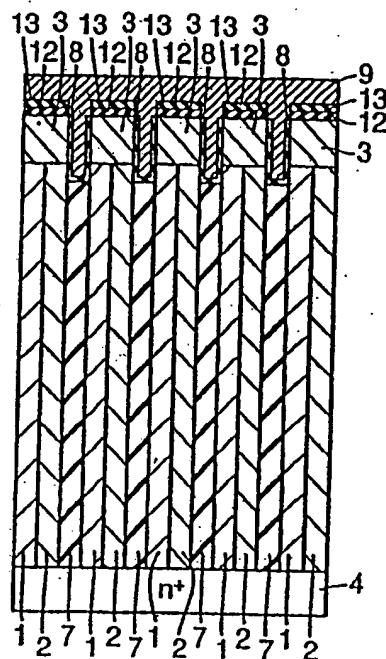


FIG. 15

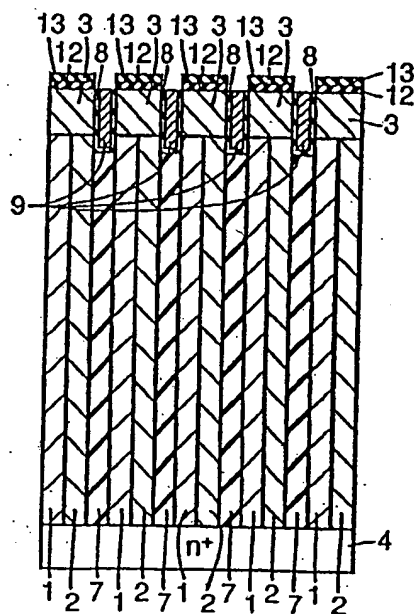


FIG. 16

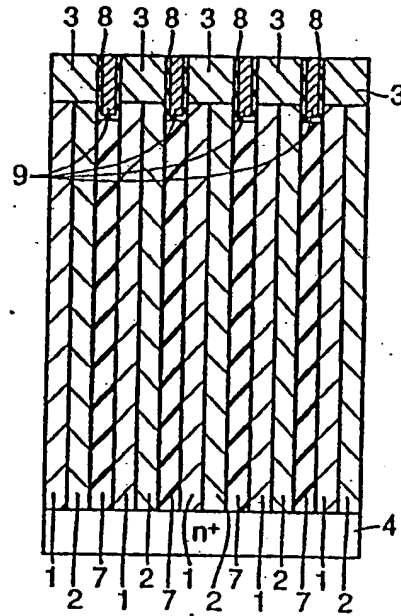


FIG. 17

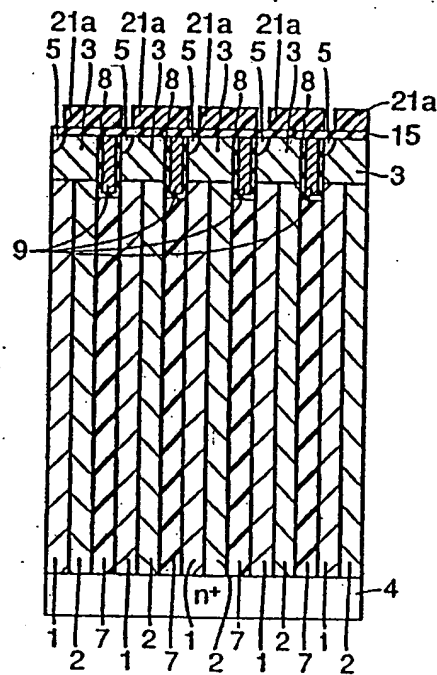


FIG.18

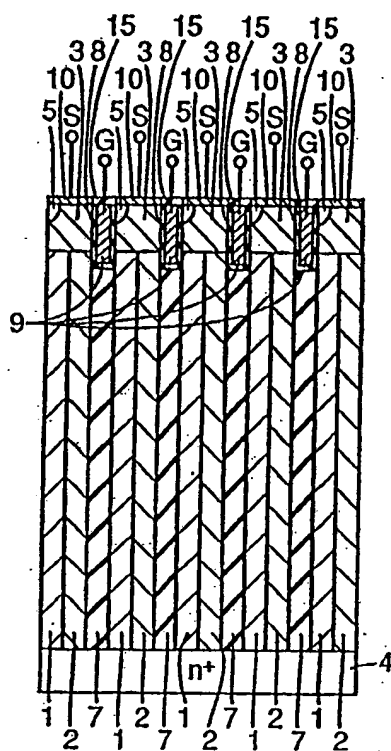


FIG. 19

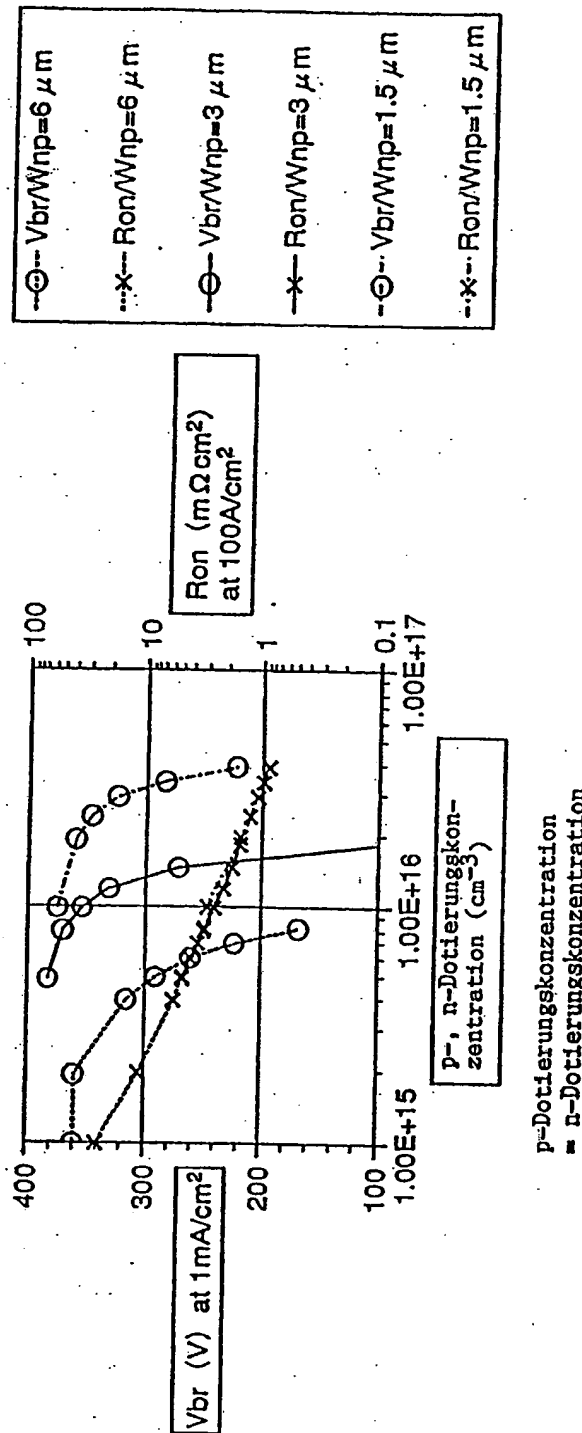




FIG.20

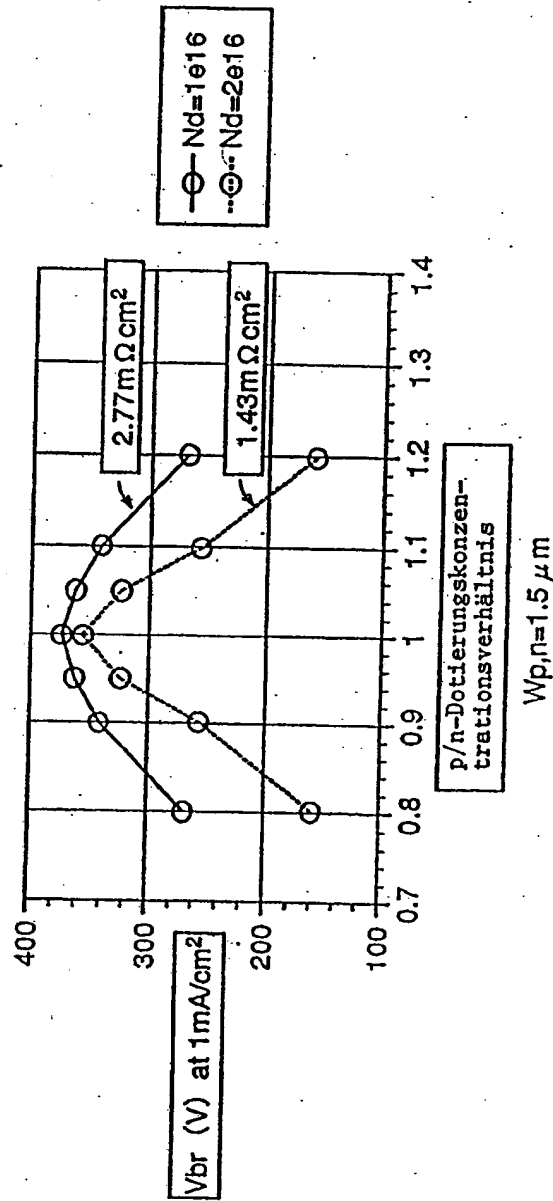
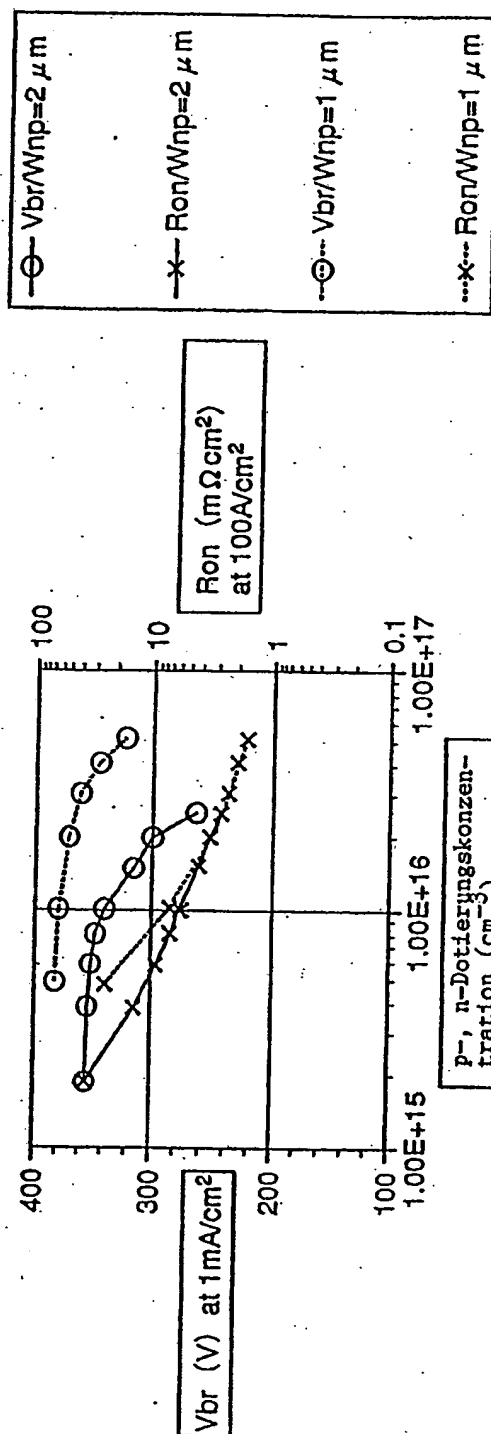


FIG.21



$$p\text{-Dotierungskonzentration} = n\text{-Dotierungskonzentration}$$

$$CHR = 0.68 \times W_{p,n}$$

FIG.22

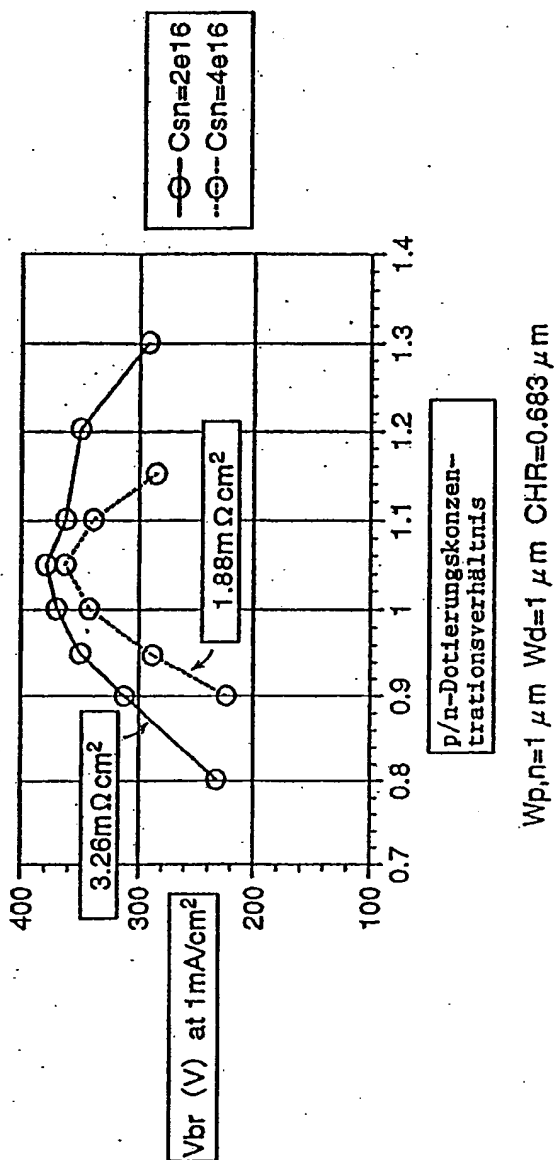


FIG. 23

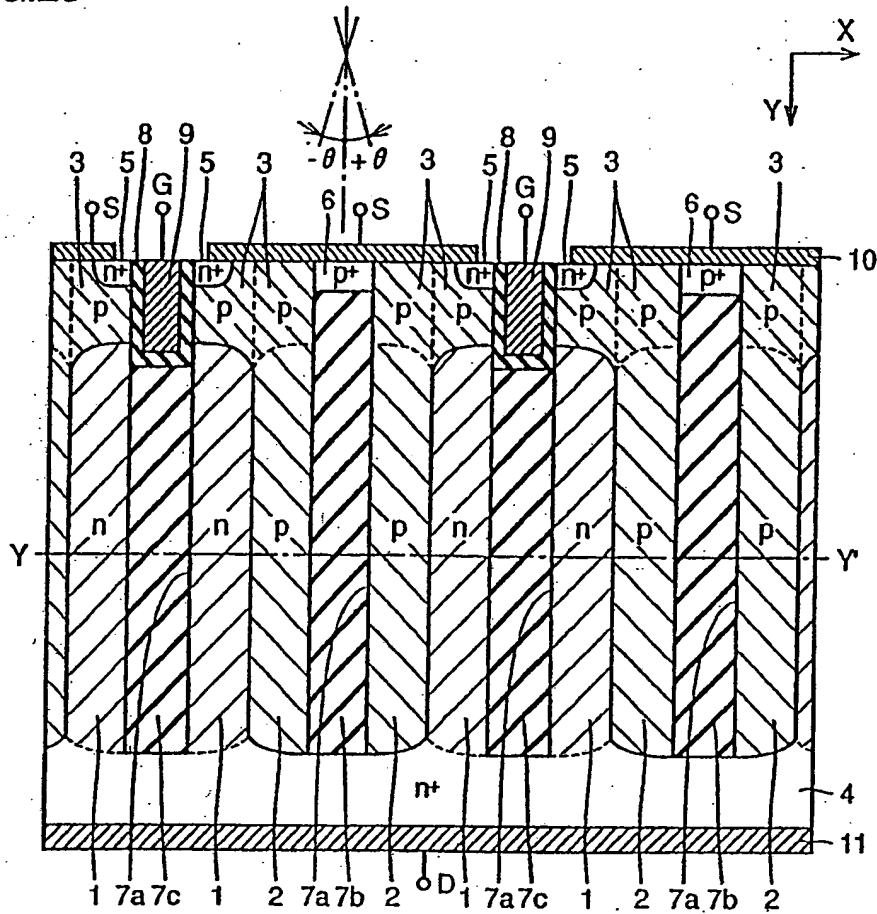


FIG. 24

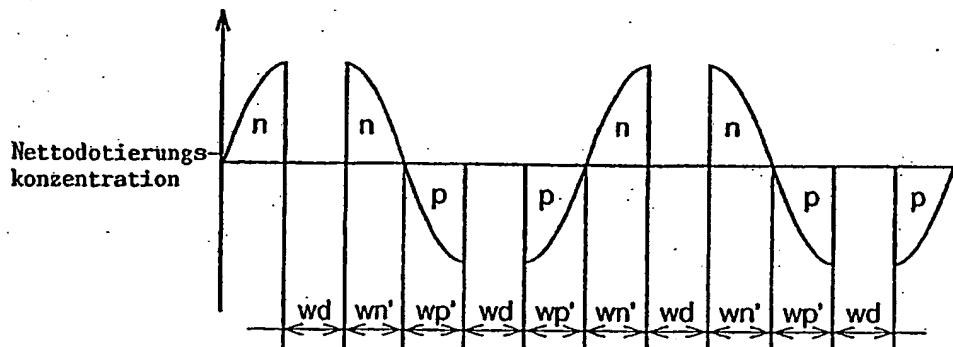


FIG. 25

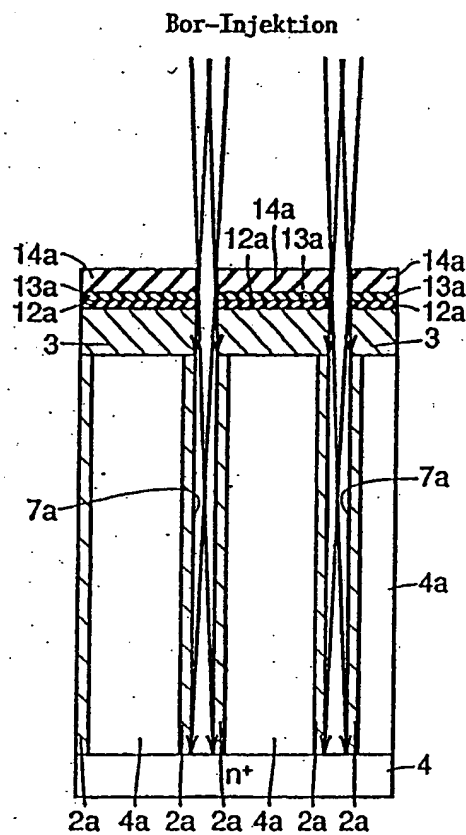


FIG.26

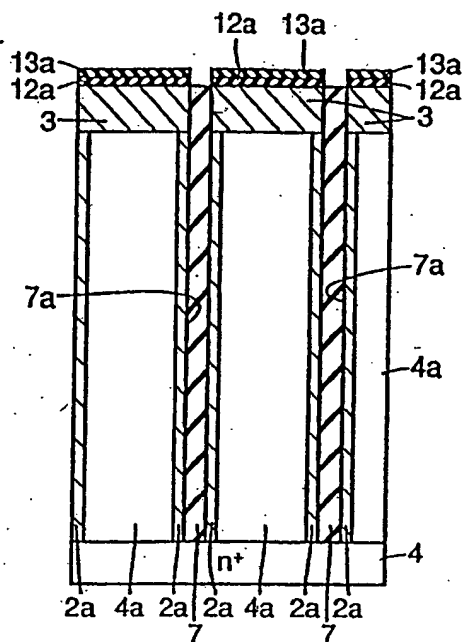


FIG.27

Phosphor-Injektion

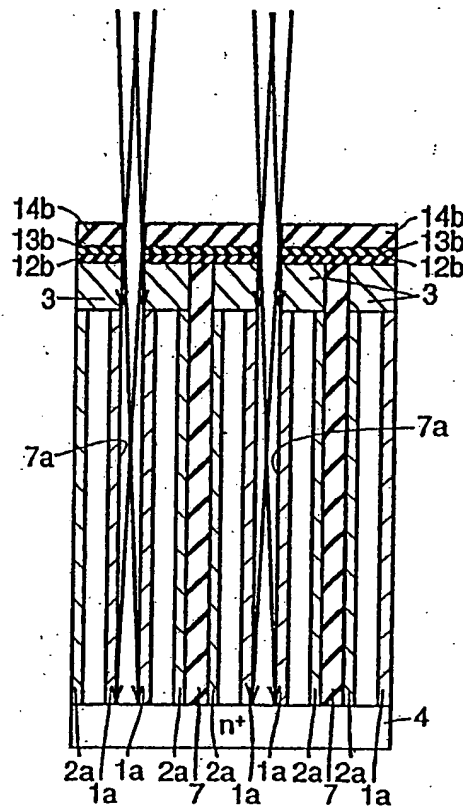






FIG.30

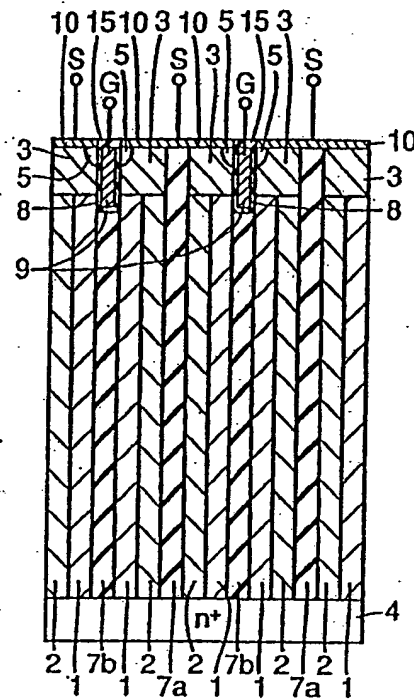


FIG.31

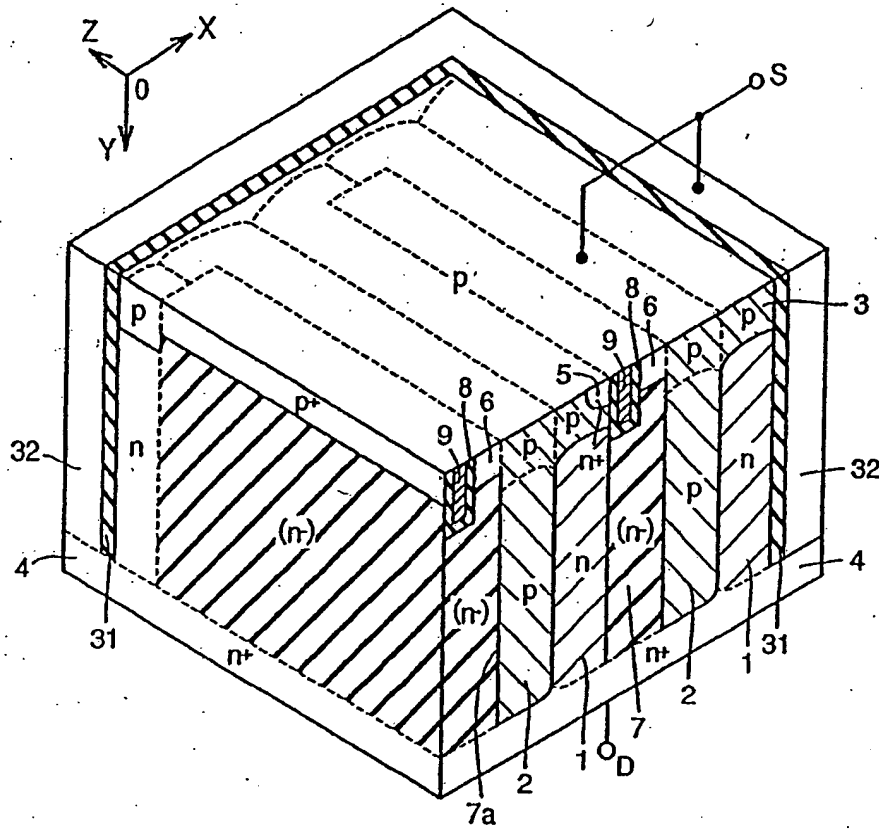


FIG.32

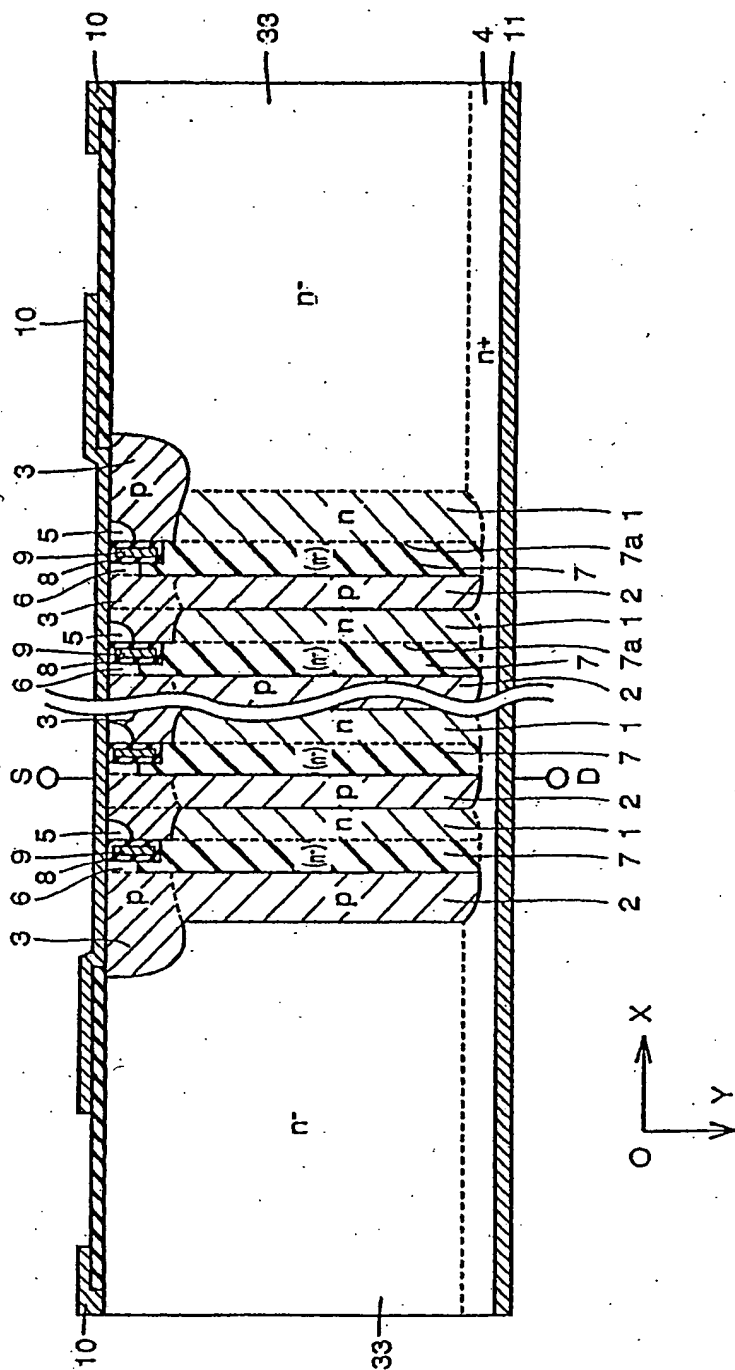


FIG. 33

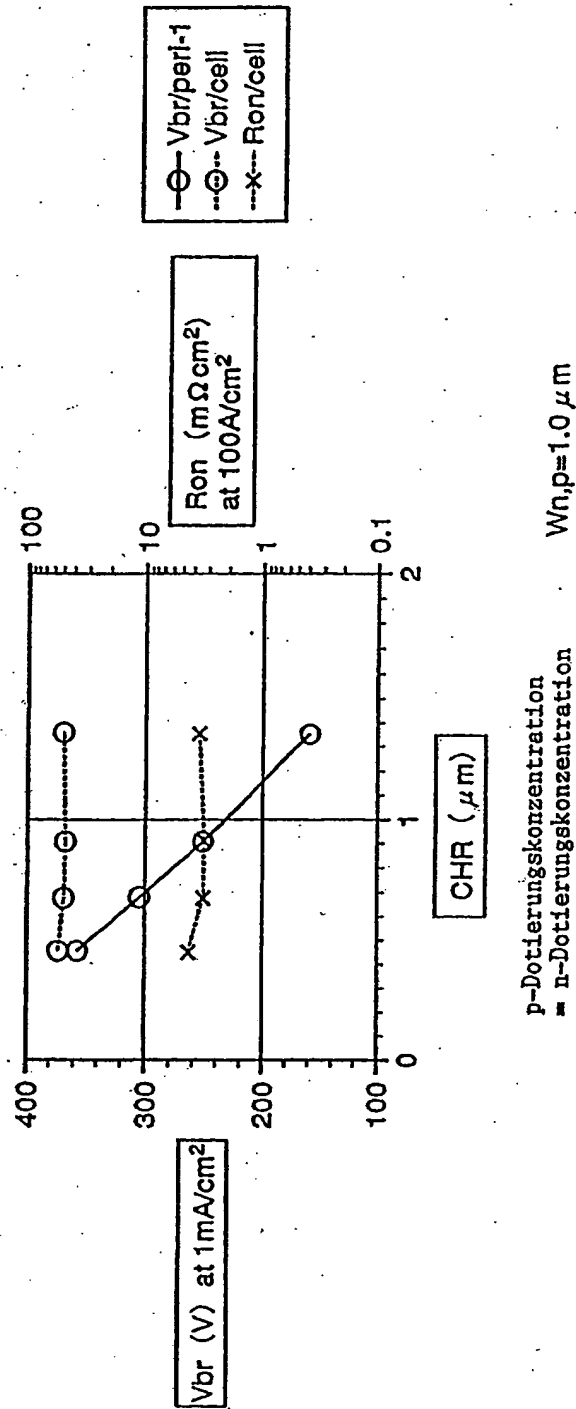
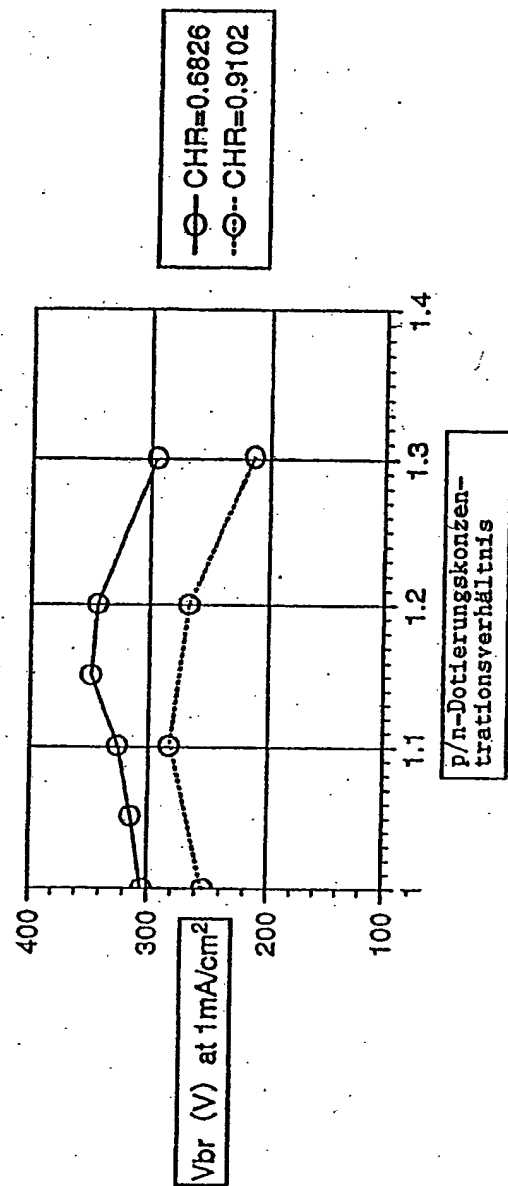


FIG.34



n-Dotierungskonzentration =  $2 \cdot 10^{16}$   $W_n, p = 1.0 \mu m$



**FIG.36**

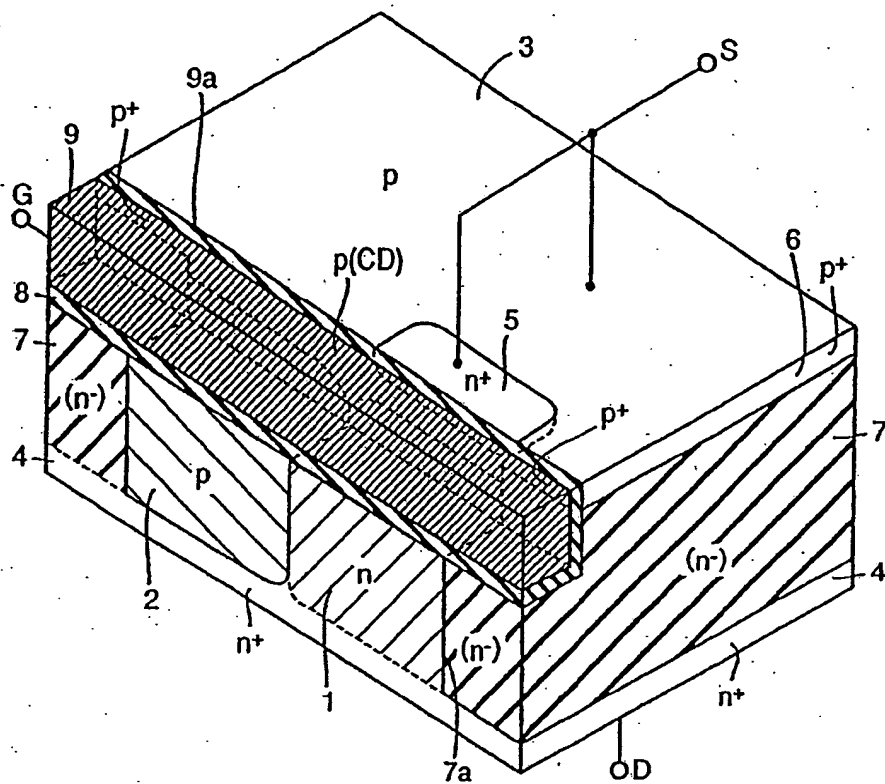


FIG. 37

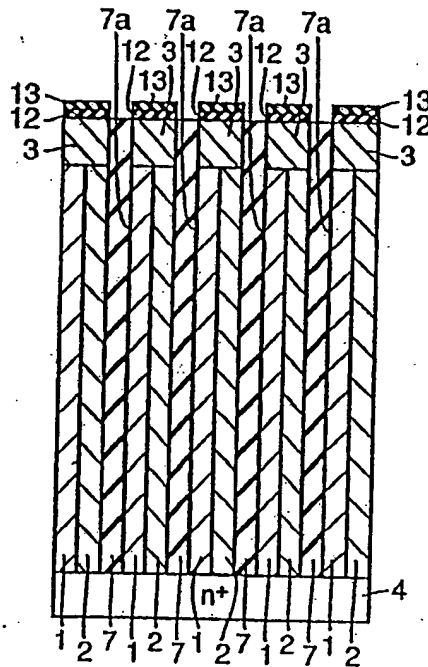


FIG.38

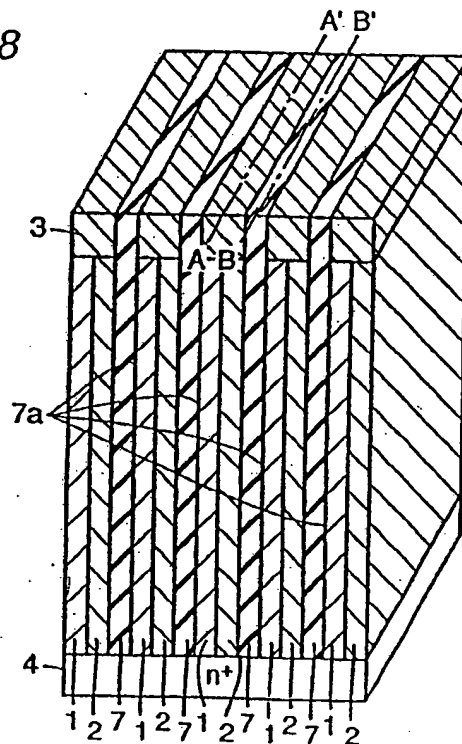
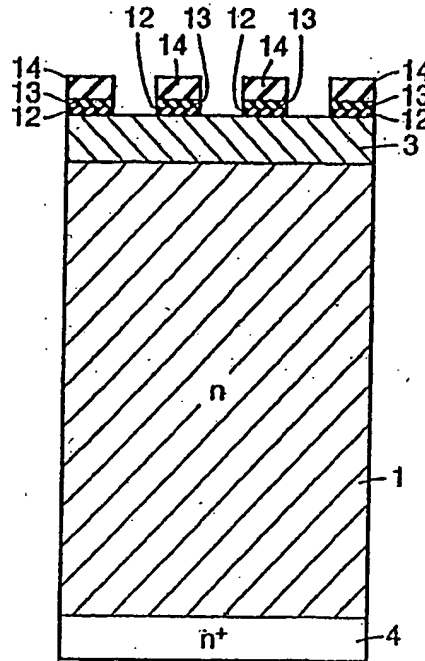


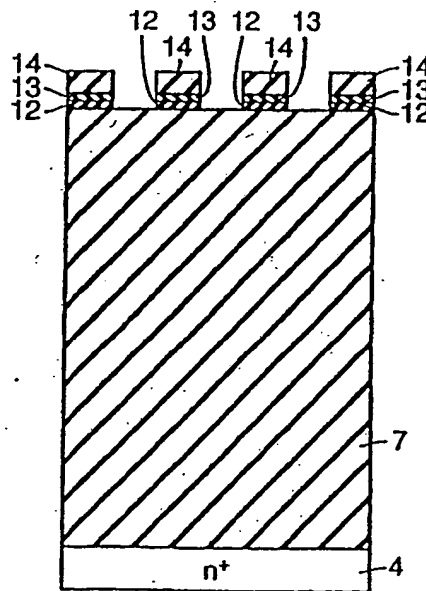


FIG.39



A-A'-Querschnitt

FIG.40



B-B'-Querschnitt

FIG.41

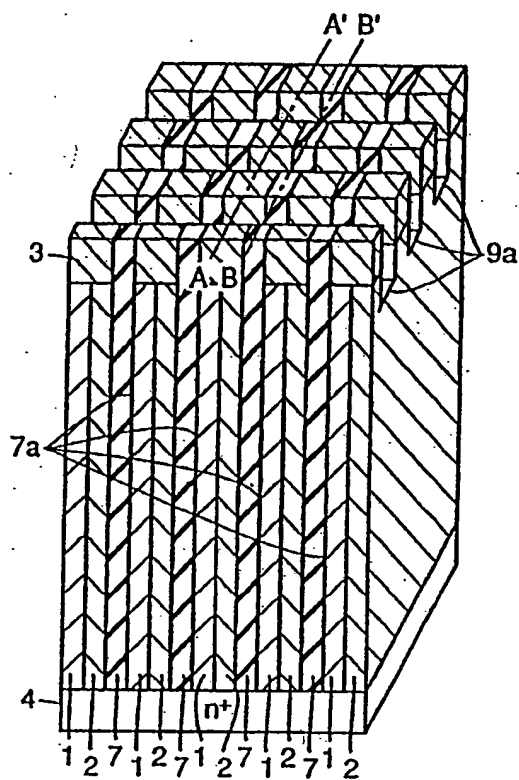
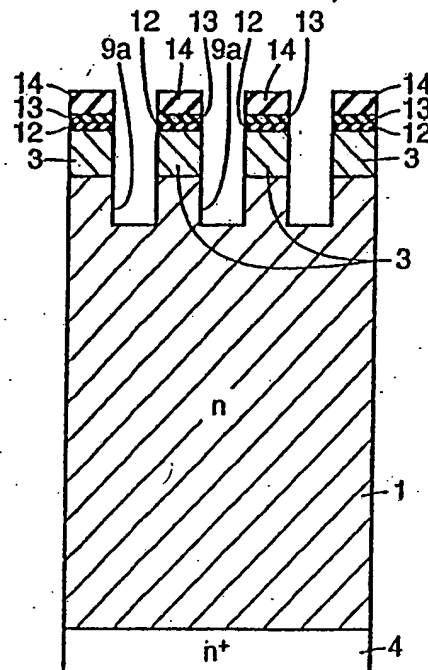
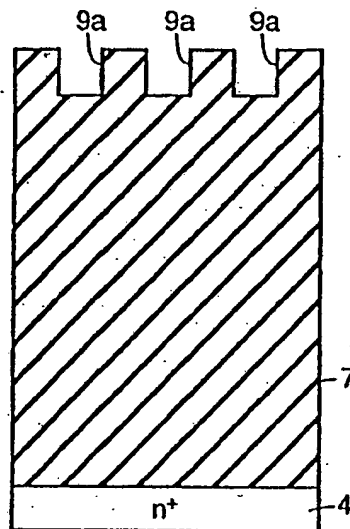


FIG.42



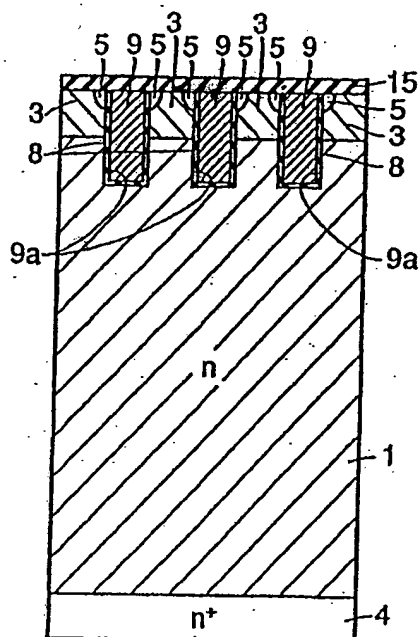
A-A'-Querschnitt

FIG.43



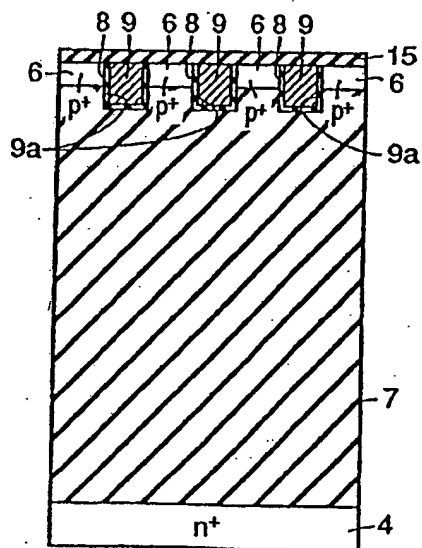
B-B'-Querschnitt

FIG.44



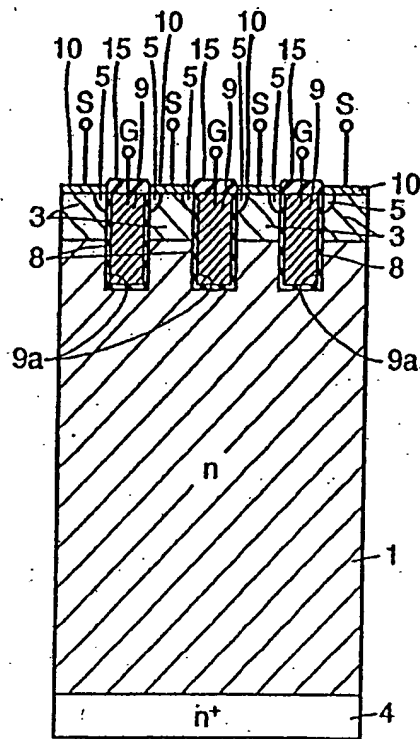
A-A'-Querschnitt

FIG.45



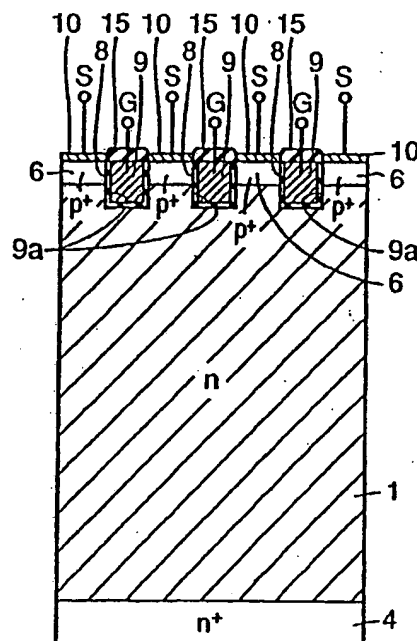
B-B'-Querschnitt

FIG. 46



A-A'-Querschnitt

FIG. 47



B-B'-Querschnitt

FIG. 48

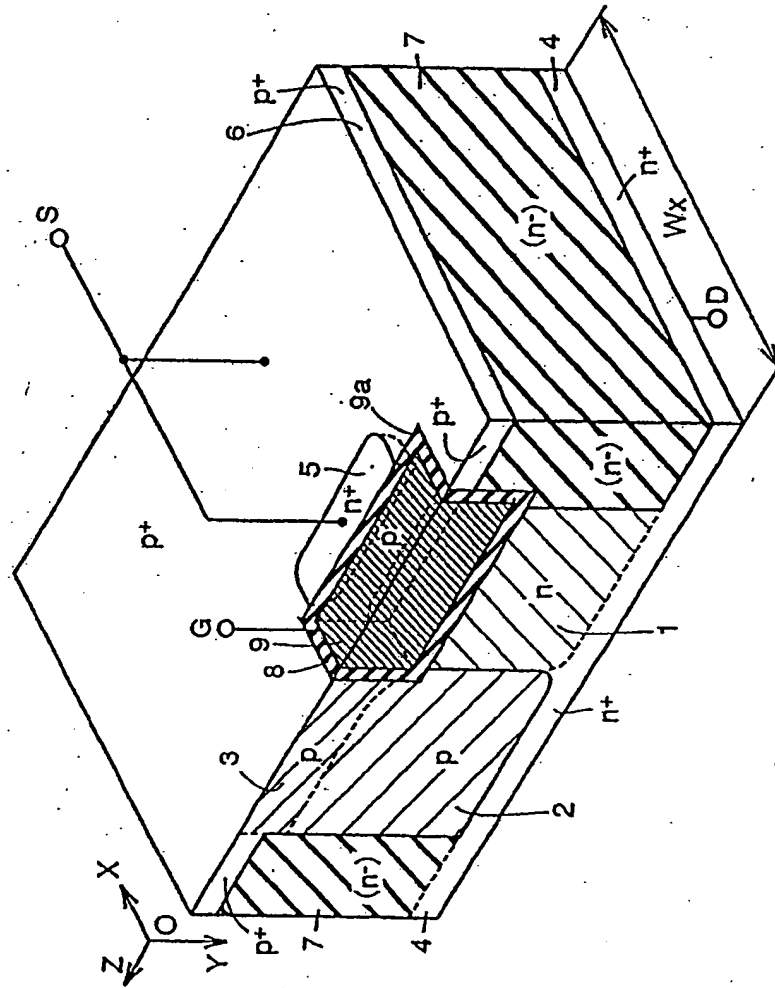


FIG. 49

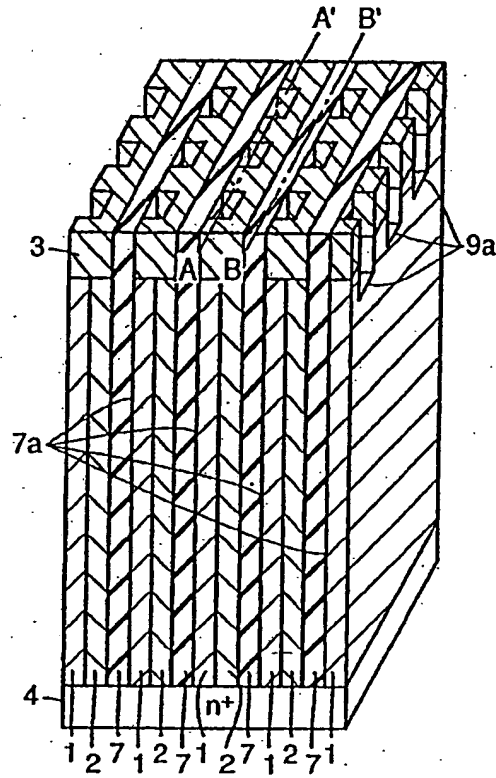
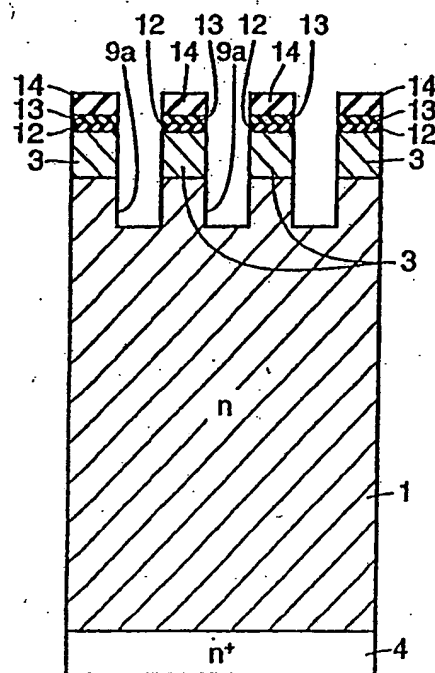
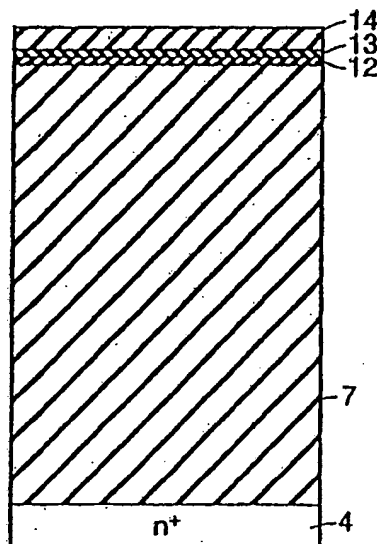


FIG.50



A-A'-Querschnitt

FIG.51



B-B'Querschnitt



FIG. 52

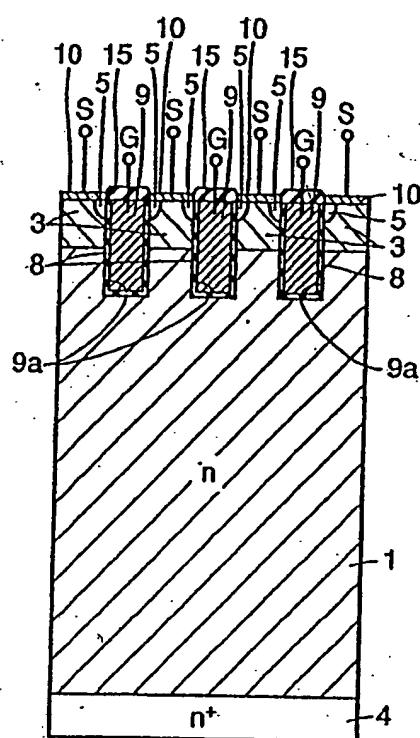


FIG.53

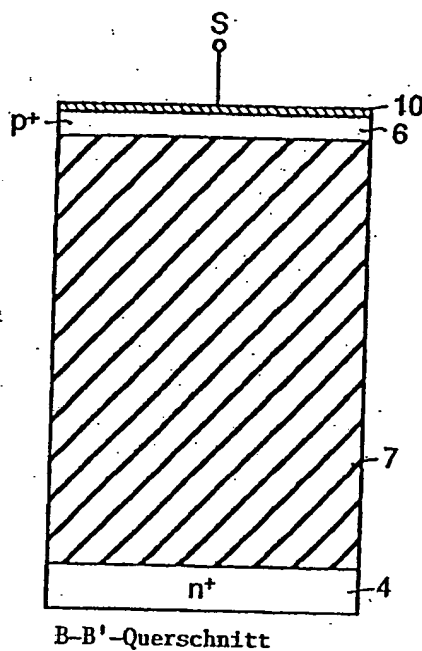


FIG.54

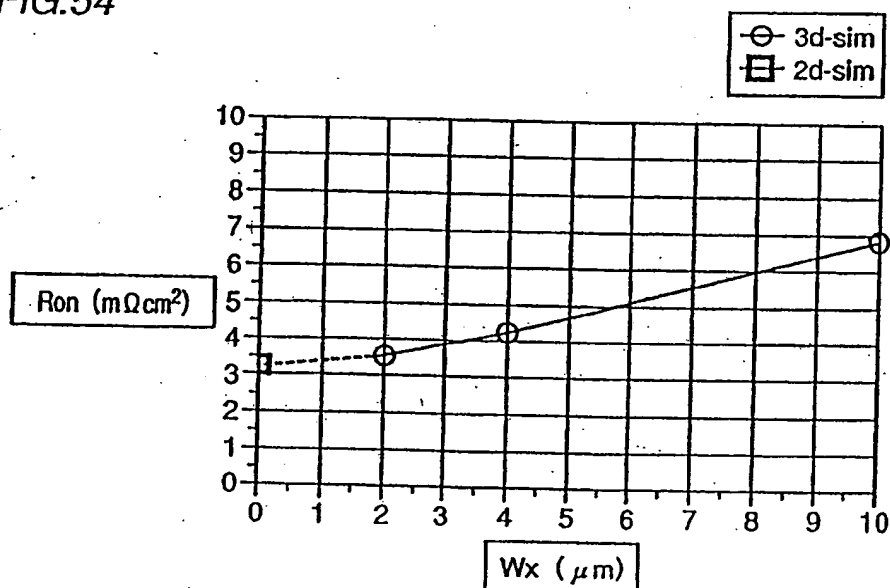
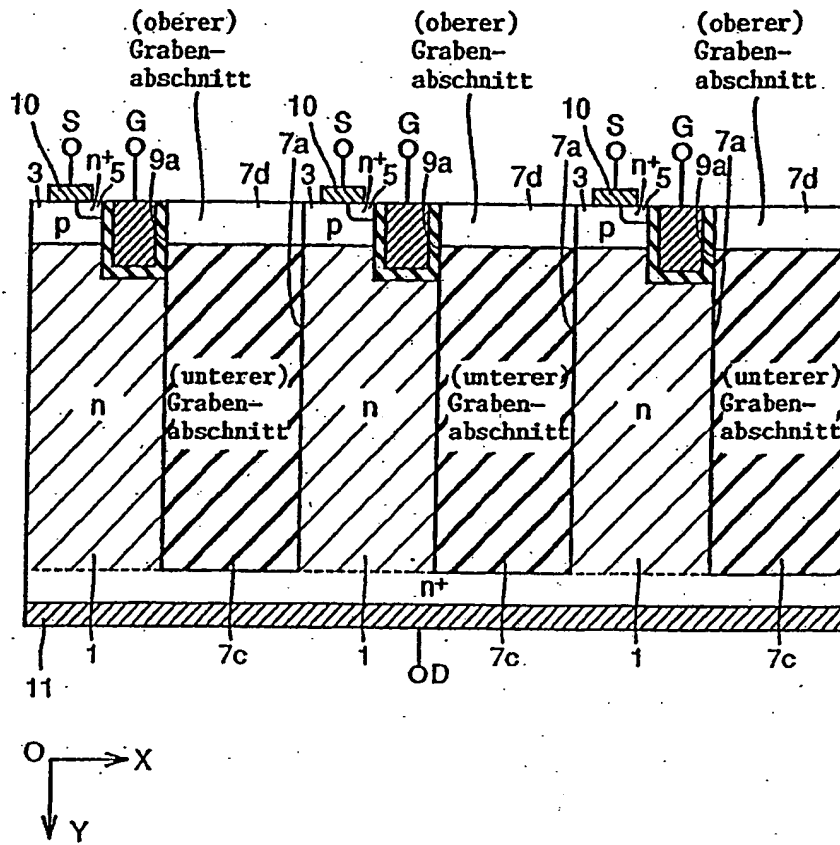




FIG.56



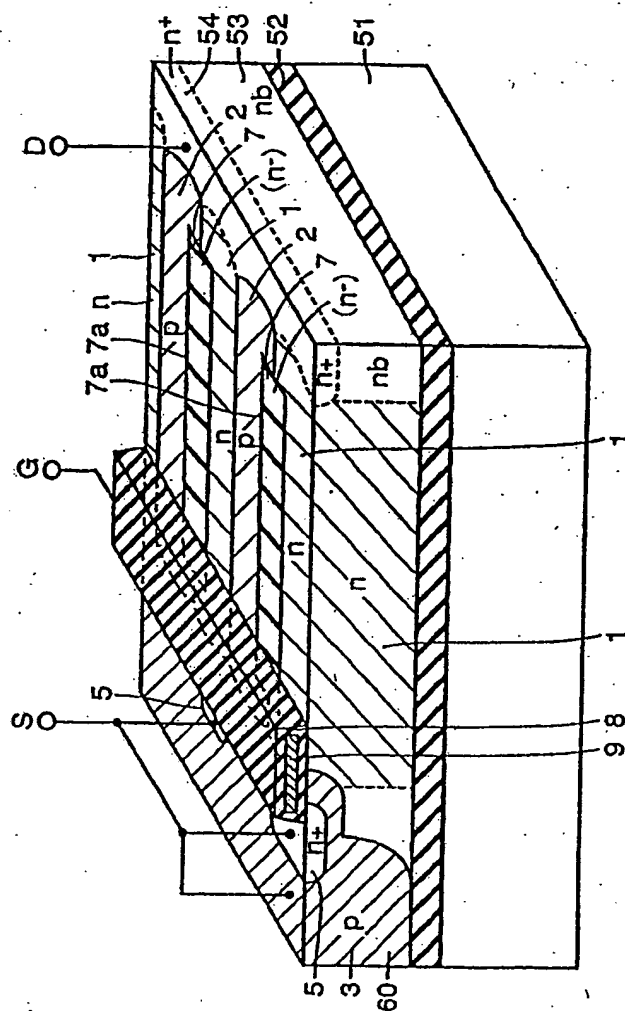


FIG.58

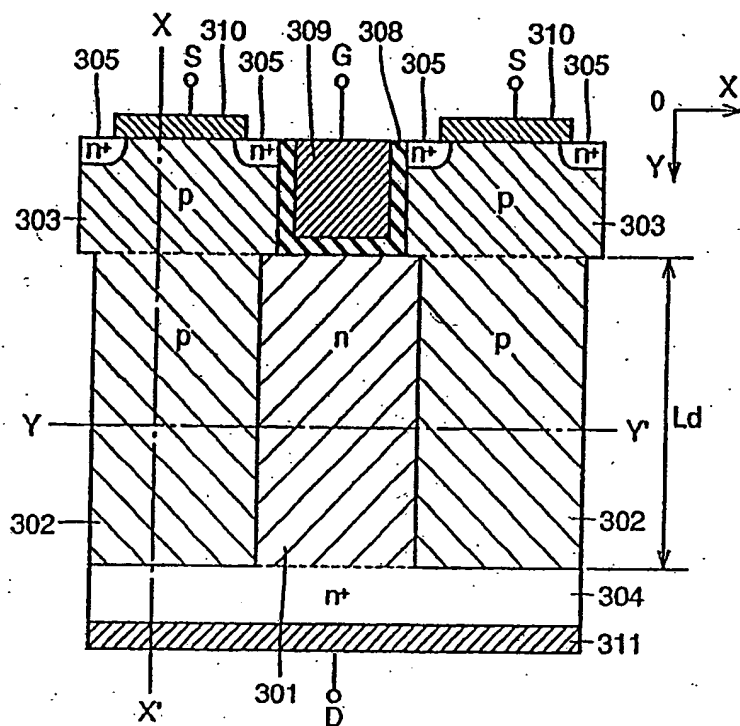


FIG.59

Dotierungs-  
konzentration

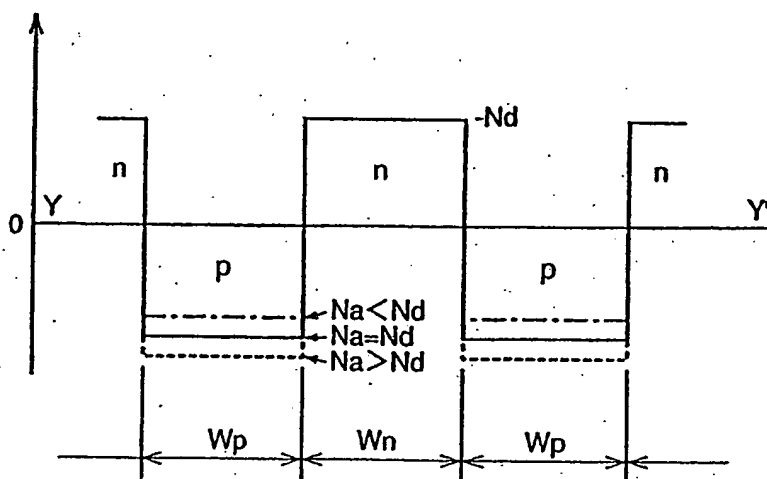


FIG.60

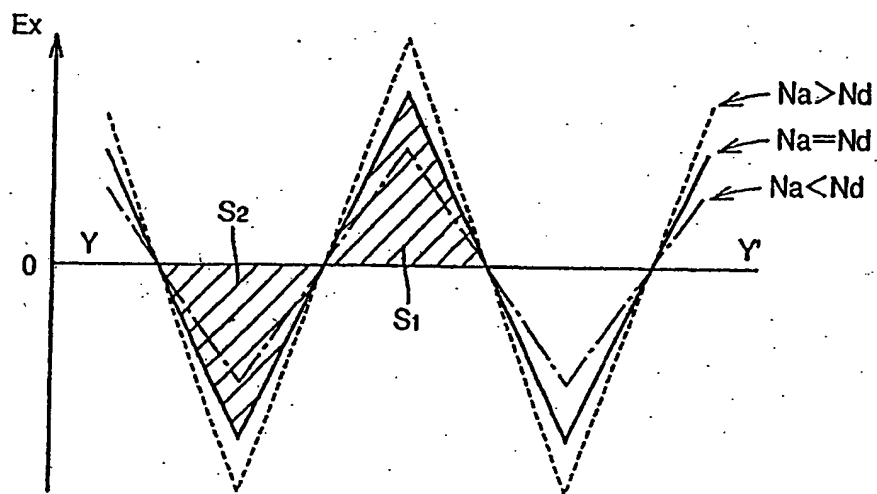


FIG.61

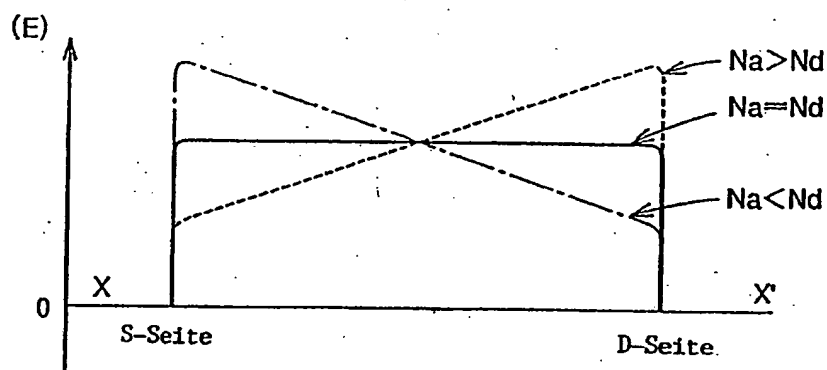


FIG.62

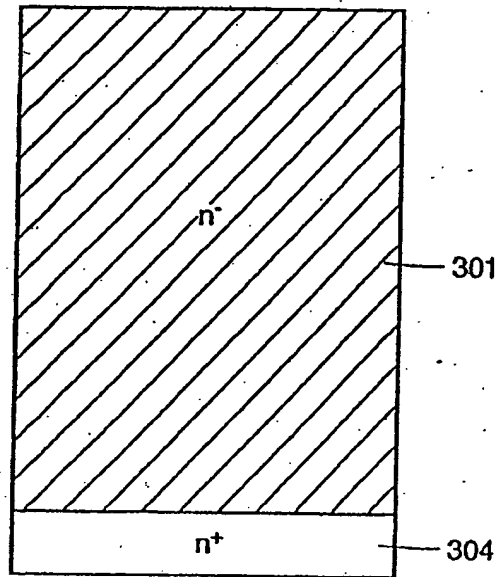


FIG.63

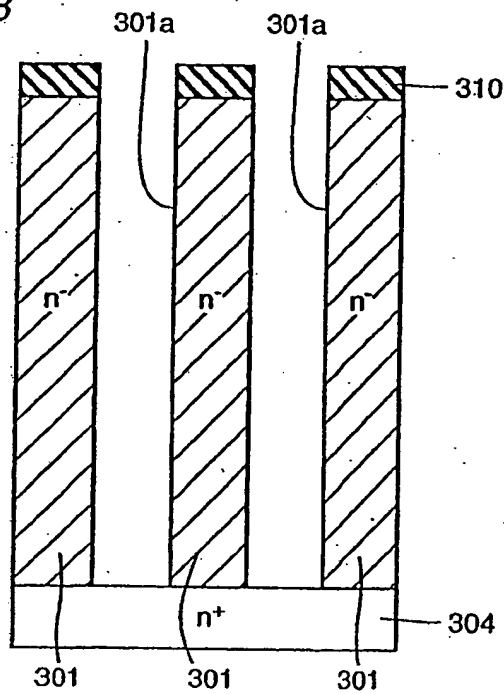




FIG.64

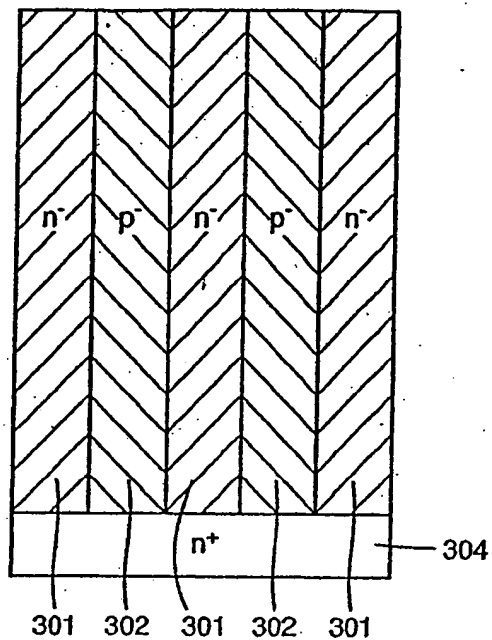


FIG.65

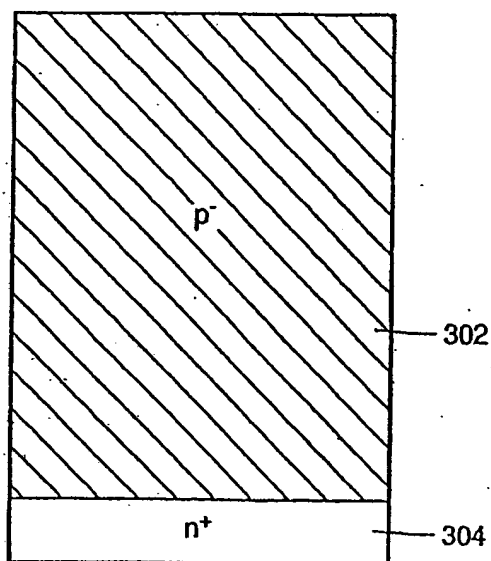
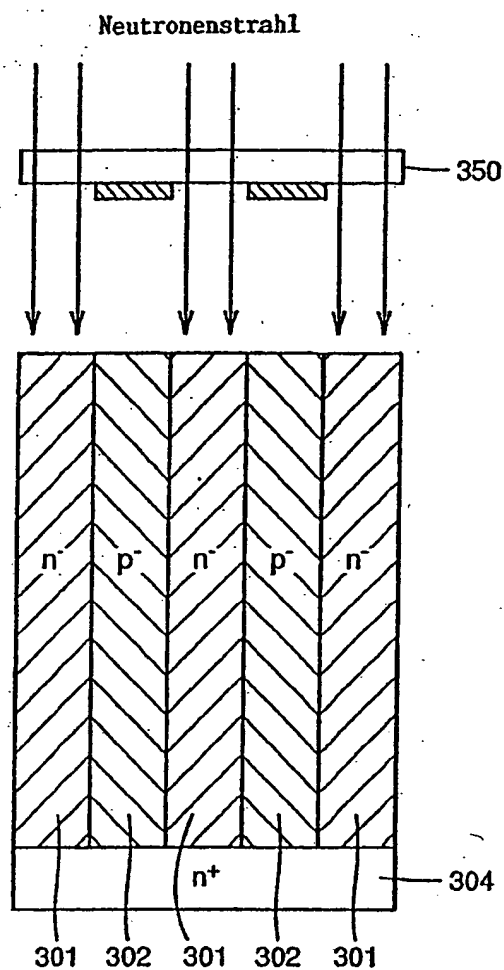


FIG.66



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**